



UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO
Facultad de Ingeniería
Escuela Ciencias de la Tierra

ASPECTOS AMBIENTALES EN PLANES DE CIERRE EN FAENAS EN LA MINERÍA DEL LITIO

Proyecto para optar al Título de Ingeniería Civil en Minas

Autor: Diego Alberto Kinzel Téllez
Profesor Guía: Juanita Galaz Palma

Viña del Mar, Chile, 2018

Agradecimientos

En primera instancia quisiera agradecer a Eduardo Berger, Director de la carrera Ingeniería Civil de Minas de la Universidad Andrés Bello Viña del Mar quien siempre tuvo buenos consejos y buena disposición ante mis dudas con respecto a este proceso.

A quien fue mi profesora guía, la Sra. Juanita Galaz Palma, por transmitirme sus conocimientos de minería, los que me permitieron concluir esta investigación y, por otro lado, a MYMA consultora donde realicé mi primera práctica profesional, gracias a todos por su paciencia y escucha.

A Mauricio González, Coordinador Técnico del Comité de Minería No Metálica de CORFO, por la gran disposición de ayudar en este tema tan complejo como es la minería de salares.

A mis profesores Alejandro Díaz y Ruth Morales por su ayuda. Muchas gracias.

A mis colegas, Diego Cárdenas, Doménico Schiappacase y Mauricio Meniconi, con quienes tuve la oportunidad y el agrado de compartir buenas experiencias durante estos años de carrera.

Quisiera dedicar estas últimas líneas a todas aquellas personas que han sido parte de este proceso, a mi abuelita, mi papá, mi hermano René, mis hermanas Karol e Isidora, a mis sobrinitos Héctor y Franz que con sus sonrisas me dan felicidad y tranquilidad. A Katy por ser mi persona especial y por estar conmigo en estos momentos tan importantes.

A veces miro al cielo y sé que eres tú... Gracias Mamá, por ser tú quien me enseñó a ir un poco más allá de lo que puedo llegar a ser.

Resumen

El Salar de Atacama es uno de los destinos turísticos más conocidos a nivel mundial, lo que más impacta es su ubicación en medio del desierto más árido del mundo, donde destaca la flora y la fauna del lugar. Por su parte, a nivel económico, el salar es una de las reservas de litio más grande del mundo, posee un poco más de la mitad a nivel mundial.

Las expectativas de la demanda de compuestos de litio están ligada fuertemente a la extracción de salmuera como principal impacto ambiental que repercuten en acuíferos colindantes afectando el nivel de altura de agua y al mismo núcleo del salar.

Los salares son ecosistemas complejos y frágiles debido a la gran concentración de aguas superficiales, subterráneas y salmuera, analizando los procesos de operación respectivos a la extracción de recursos de una misma cuenca, todos los proyectos dentro del Salar de Atacama tienen un efecto sinergia que generan impactos acumulativos, por lo que no pueden ser evaluados como si fuesen independientes y resulta necesario vincular los impactos que genera cada uno.

El presente proyecto tiene como objetivo analizar las normas vigentes que regulan el cierre de faenas, para establecer si éstas son aplicables a la minería no metálica proveniente de salares y analizar los aspectos ambientales asociados a esta etapa, entendiendo que el objetivo final de un plan de cierre planificado está orientado a asegurar la vida, salud y seguridad de las personas y el medio ambiente a través del control de la estabilidad física y química de las instalaciones remanentes.

Para ello se analiza el caso de dos proyectos localizados en el Salar de Atacama sobre la base de la información pública del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, la información del Servicio Nacional de Geología y Minería solicitada a través de gobierno transparente y los antecedentes sobre el modelo hidrogeológico proporcionado por CORFO.

Los Planes de Cierre de estos proyectos estos fueron aprobados a través del Procedimiento de Aplicación General bajo el Régimen Transitorio de la Ley 20.551, dejando en evidencia las faltas de etapa de Post Cierre y de análisis de riesgos para instalaciones remanentes.

Para incorporar las deficiencias comentadas en el párrafo anterior, se analizará si a este tipo de minería son aplicables las normas establecidas en la Ley 20.551, teniendo en cuenta la capacidad de extracción de sustancias minerales y los riesgos asociados a la etapa de post cierre así como las medidas adecuadas para el control de los riesgos de las instalaciones remanentes, constituidas principalmente por los acopios de sales residuales.

Actualmente existe un gran interés por explotar Litio en otros salares del norte, por lo resulta de interés es abarcar esta minería no metálica bajo las normativas de cierre vigentes con el fin de establecer si se requiere introducir modificaciones a la Ley respectiva.

Abstract

Salar de Atacama is one of the best known tourist destinations in the world. The most curious thing is its location in the middle of the driest desert in the world, where the flora and fauna of the place stand out. Economically, the salar is one of the largest lithium reserves in the world, it has a little more than half worldwide.

The expectations for the demands of lithium compounds are strongly linked to the extraction of brine as the main environmental impact that affects adjacent aquifers affecting the level of water height and the same salt core.

The salt flats are complex and fragile ecosystems, due to, the high concentration of surface water, groundwater and brine, analyzing the respective operation processes to extract resources from the same basin, all projects within the Salar de Atacama have a synergy effect that generate cumulative impacts, so they can't be evaluated as if they were independent and it is necessary to link the impacts generated by each

The objective of this thesis is to analyze the current regulations that regulate the closure of works, to establish if these are applicable to non-metallic mining from salt mines and to analyze the environmental aspects associated with this stage, understanding that the final objective of a plan of Planned closure is aimed at ensuring the life, health and safety of people and the environment by controlling the physical and chemical stability of the remaining facilities.

For this, the case of two projects located in the Salar de Atacama is analyzed based on public information from the Environmental Impact Assessment System, information from the National Geology and Mining Service requested through transparent government, and background information on the Hydrogeological model provided by CORFO.

The Closure Plans of these projects were approved through the General Application Procedure under the Transitory Regime of Law 20,551, evidencing the lack of Post-Closure stage and risk analysis for remaining facilities.

To incorporate the deficiencies mentioned in the previous paragraph, it will be analyzed if the rules established in Law 20,551 are applicable to this type of mining, taking into account the extraction capacity of mineral substances and the risks associated with the post-closure stage as well as the adequate measures for the control of the risks of the remaining installations, constituted mainly by the storage of residual salts.

Currently there is a great interest in exploiting Lithium in other northern salt flats, so it is of interest to include this non-metallic mining under the current closure regulations in order to establish if modifications to the respective Law are required.

Abreviaciones

CCHEN:	Comisión Chilena de Energía Nuclear
CMNM:	Comité de Minería No Metálica.
CORFO:	Corporación de Fomento de la Producción
CSM:	Comité de Sales Mixtas
D. S.:	Decreto Supremo
DGA:	Dirección General de Aguas
DIA:	Declaración de Impacto Ambiental
EIA:	Estudio de Impacto Ambiental
LCE:	Carbonato de Litio Equivalente
MINSAL:	Minera Salar de Atacama S.A.
Mton:	Millones de toneladas
PAT:	Plan de Alerta Temprana
RCA:	Resolución de Calificación Ambiental
SCL:	Sociedad Chilena Litio
SEA:	Servicio de Evaluación Ambiental
SEIA:	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SERNAGEOMIN:	Servicio Nacional de Geología y Minería.
SESMA:	Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente
SMA:	Superintendencia del Medio Ambiente
SQM:	Sociedad Química y Minera
USGS:	United States Geological Survey

Índice de Contenido

Capítulo I: Introducción.....	12
I.1 Problemática	13
I.2 Aportes y contribuciones al proyecto.....	13
I.3 Objetivos	13
I.4 Alcances.....	14
I.5 Metodología.....	14
Capítulo II: Marco Teórico	16
II.1 Antecedentes Generales	16
II.2 Historia del litio en Chile	20
II.3 Geología del Salar de Atacama.....	21
II.4 El salar y minería.....	24
II.5 Proceso de producción.....	26
II.6 Aspectos ambientales en etapa de operación.....	27
II.7 Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)	33
II.8 Ley que regula el cierre de faenas	36
II.9 Evaluación de riesgos para instalaciones remanentes.....	40
Capítulo III: Desarrollo del Proyecto.....	41
III.1 Etapas de un proyecto minero en salares	41
III.2 Factores de la minería de salares	42
III.3 Proyectos Mineros de litio	43
III.4 Etapa de cierre	45
III.5 Actividades de cierre en el Salar de Atacama	45
III.6 Actividades de cierre Salar de Maricunga	46
III.7 Instalaciones remanentes.....	49
III.8 Aspectos Ambientales en la etapa de cierre	53
III.9 Actividades Post Cierre en el Salar Atacama	54
III.10 Actividades Post cierre Salar de Maricunga	56
III.11 Normativas de cierre y Minería del Litio	58
III.12 Planes de cierre	60
III.13 Dimensionamiento por capacidad de extracción	62
III.14 Determinación de la Vida útil.....	64

III.15 El problema del SEIA y la DGA	65
III.16 Importancia de una buena gestión de cuencas	68
III.17 Aspectos ambientales asociados al cese de operaciones	71
Capitulo IV: Discusión	77
Capitulo V: Conclusión	79
V.1 Con respecto a la normativa aplicable a cierre de faenas mineras	79
V.2 Con respecto a los aspectos ambientales.....	80
Capitulo VI: Recomendaciones	82
Capitulo VII: Glosario.....	83
Capitulo VIII: Bibliografía.....	86
Capitulo IX: Anexos.....	88

Índice de gráficos

Gráfico 1: Proyección de Oferta 2017-2021.....	17
Gráfico 2: Variación Precio del Carbonato de Litio.	18
Gráfico 3: Recursos de Litio.....	19
Gráfico 4: Reservas de Litio.....	20
Gráfico 5: Extracción histórica de salmuera en Salar de Atacama.	25
Gráfico 6: Evolución de los niveles piezométricos del núcleo sector suroeste del Salar de Atacama.	30
Gráfico 7: Umbrales para el pozo PN-05B en el tiempo.	35
Gráfico 8: PAT para el seguimiento de comportamiento de una cuenca en etapa de operación y cierre.	69
Gráfico 9: Evolución de niveles en el núcleo del salar, 1986 – 2016, Área Salar.	74
Gráfico 10: Precipitación Mensual histórica, 2002 - 2016. Área Salar.	75

Índice de Tablas

Tabla 1: Factores que determinan bajos costos de extracción de litio en salmueras.	23
Tabla 2: Comparación de salares.	24
Tabla 3: Efectos ambientales de la minería del Litio.....	28
Tabla 4: Estimación recarga al núcleo.	31
Tabla 5: Composición de tortas de acopios de descarte.	33
Tabla 6: Proyectos del Litio en Chile.....	44
Tabla 7: Medidas de Cierre aprobadas para Albemarle.....	45
Tabla 8: Medidas de cierre aprobadas para SQM área abastecimiento	46
Tabla 9: Medidas de cierre aprobadas para SQM área SOP.....	46
Tabla 10: Medidas de cierre aprobadas para SQM área MOP.	46
Tabla 11: Medidas de cierre Minera Salar Blanco.	47
Tabla 12: Medidas de cierre SIMCO.....	47
Tabla 13: Obras y medidas de cierre planta Salar, Albemarle.....	48
Tabla 14: Evaluación de riesgos para tortas de acopio.	52

Tabla 15: Normativa de cierre aplicable de la Ley que regula el cierre de faenas e infraestructuras a la minería del Litio.	58
Tabla 16: Normativa de cierre aplicable del Decreto 40 a la minería del Litio. .	59
Tabla 17: Normativa de cierre aplicable del Decreto 41 a la minería del Litio. .	60
Tabla 18: Vida útil de proyectos según tipo de documentos.	65
Tabla 19: Balance hídrico en el acuífero en régimen natural.	72
Tabla 20: Balance hídrico en el acuífero en régimen en explotación.	73
Tabla 21: Balance hídrico en el acuífero y cese de extracción de salmuera. ...	73

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Sectores del Salar de Atacama.	22
Ilustración 2: Proceso productivo de salmuera rica en litio.	27
Ilustración 3: Balance hídrico del acuífero Salar de Atacama en régimen de explotación.	29
Ilustración 4: Recarga al núcleo del salar.	32
Ilustración 5: Etapas de un proyecto minero.	38
Ilustración 6: Procedimientos de aprobación de Plan de Cierre.	61
Ilustración 7: Procedimientos de aprobación por Procedimiento de Aplicación General.	61
Ilustración 8: Interfaz salina del Salar de Atacama.	76

Capítulo I: Introducción

La presente investigación busca establecer si el conjunto de normas contenidas en las leyes que rigen el cierre de faenas mineras en Chile, tiene aplicación en las faenas de extracción de litio proveniente de salares una vez que las operaciones llegan al final de la vida útil o la finalización de acuerdos de concesiones para la explotación del metal.

Como resultado, se espera contar con un conjunto de recomendaciones que permitan realizar los ajustes pertinentes a la Ley 20.551 que regula el cierre de faenas mineras, o bien, desarrollar una propuesta de aspectos relevantes que permita controlar los posibles impactos negativos a largo plazo.

En la actualidad no existe una regulación específica para el cierre de faenas e infraestructura para la minería del Litio que en Chile se desarrolla en salares, por lo tanto, se requiere prever cuáles podrían ser los impactos nocivos con posterioridad al cese de operaciones en el ámbito de seguridad o riesgos al medio ambiente de los cuales la empresa minera debe hacerse cargo y estimar los costos que ello demande para ser considerados dentro de la evaluación económica del proyecto minero.

A pesar de que en Chile no se han registrado ni ha ocurrido abandono de faenas de la minería del Litio y aún les queda años de vida útil por contrato, constituye una responsabilidad para el Estado establecer las condiciones bajo las cuales debe quedar el sitio donde se desarrollaron este tipo de actividades, de manera de no dejar a las generaciones futuras con pasivos ambientales como ocurrió en el pasado con la minería convencional.

Es en este contexto este estudio cobra una relevancia, ya que el objetivo principal es verificar si las normas vigentes que regulan el cierre de faenas o instalaciones mineras son aplicables a la minería del Litio y la minería no metálica, para la prevención, minimización o control de los riesgos o efectos negativos que se generen sobre la salud y seguridad de las personas o del medio ambiente.

I.1 Problemática

Chile cuenta actualmente con la ley 20.551 que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras para la industria minera, petróleo y gas, pero no está explícitamente mencionada la minería no metálica ni se refiere a la explotación de salares.

La importancia de la regulación del cierre de faenas obedece a la necesidad de considerar la etapa de cierre como parte de la planificación minera, ya que es una de las pocas actividades industriales que tiene una vida útil finita permitiendo planificar cómo quedará el sitio una vez que cesen las actividades productivas. En este estudio se busca establecer una solución para la minería que se desarrolla en torno a la explotación de salmueras, entendiendo que se requiere evaluar los potenciales impactos ambientales previstos para la etapa posterior al cese de las operaciones, con el fin de establecer medidas de control de los riesgos y su presentación a las autoridades para la aprobación del Plan de Cierre de las instalaciones de la minería del Litio, según lo establecido en el Reglamento de Seguridad Minera y en la propia Ley 20.551.

I.2 Aportes y contribuciones al proyecto

Como resultado de esta investigación se espera establecer si el conjunto de normas que regula el cierre de faenas es aplicable a la minería del Litio, o se requiere una modificación, lo cual podría llevarnos a proponer un capítulo adicional específico para este tipo de minería.

Durante la etapa de desarrollo, se identifican los aspectos ambientales relevantes o significativos previstos para la etapa de cierre a través de bibliografía relacionada con la estabilidad del entorno que rodea este tipo de minería.

Además, esta investigación contribuirá a determinar recomendaciones para el tratamiento de los acopios de sales de descarte que quedarían como instalaciones remanentes, una vez finalizada la etapa de operación.

I.3 Objetivos

I.3.1 Objetivo general

Identificar los aspectos o impactos ambientales que deberán ser controlados en la etapa de cierre de las operaciones de explotación de Litio proveniente de salares, para el control, prevención o mitigación de los riesgos y

la suficiencia del conjunto de normas que regulan el cierre de instalaciones mineras aplicada a la extracción de compuestos de litio.

I.3.2 Objetivos específicos

- a) Describir los procesos de purificación de salmuera rica en litio.
- b) Describir las actividades de cierre en el área salar.
- c) Analizar impactos ambientales de la minería del litio en las etapas de operación.
- d) Desarrollar la etapa de análisis de riesgos, sobre la base de las guías emitidas por SERNAGEOMIN, con el propósito de proponer medidas de cierre, para control de los riesgos que resulten significativos.
- e) Establecer la necesidad de proponer normas a la ley de cierre e infraestructuras mineras para la minería no metálica si es necesario.

I.4 Alcances

La investigación se centrará en la industria minera no metálica de Chile, específicamente en la minería del Litio, mediante el análisis de los aspectos ambientales esperados en la etapa final de las operaciones de extracción. El estudio se enfocará en el Salar de Atacama, perteneciente al triángulo del Litio donde se encuentran las mayores reservas.

I.5 Metodología

El estudio abarca la determinación de las características específicas para regular el cierre de faenas e infraestructuras de la minería en estudio, mediante el análisis de los planes de cierre presentados por las compañías que explotan del salar con el bombeo de salmuera.

Considerando los conceptos de cierre de faenas y los procesos productivos para el Litio así como los aspectos geológicos del Salar de Atacama, la metodología se basa en analizar si se hace aplicable la ley de cierre de faenas tal cómo está, junto con planteamientos y comparación bibliográfica con tal de poder abarcar la gran diversidad de proyectos mineros a la Ley 20.551.

I.5.1 Fuente de datos

Los antecedentes e información analizados en el presente proyecto fueron obtenidos de diversas fuentes a través de SEIA, SERNAGEOMIN, CORFO,

asistencias a foros, charlas y entrevistas con especialistas en temas relacionados a Planes de Cierre, minería de salares y legislación minera.

I.5.2 Áreas temáticas

La información base contempla principalmente la etapa de cierre para la minería de salares a través de bibliografía.

- Analizar el modelo hidrogeológico conceptual del Salar de Atacama.
- Comprender si las leyes de cierre de faenas e instalaciones mineras aplican en su totalidad a este tipo de minería.
- Entregar recomendaciones para modificar la Ley de Cierre de Faenas.

I.5.3 Pregunta de Investigación

¿Aplica la Ley que regula el Cierre de Faenas e Infraestructura minera a la Minería del Litio?

Capítulo II: Marco Teórico

Cada Faena Minera se considera un caso particular e individual, con características propias y diferentes a las demás y, en este tipo de minería, es relevante conocer los aspectos que la diferencian de la minería convencional. Para comenzar, se describirá la naturaleza del origen del litio y las leyes que lo condicionan.

II.1 Antecedentes Generales

El Litio es el tercer elemento de la tabla periódica y el primero del grupo de los metales alcalinos y se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y aunque se presenta en alrededor de 145 especies mineralógicas de distintos orígenes y en el agua de mar, existe principalmente en minerales pegmatíticos, en arcillas sedimentarias y en salmueras (COCHILCO, 2013).

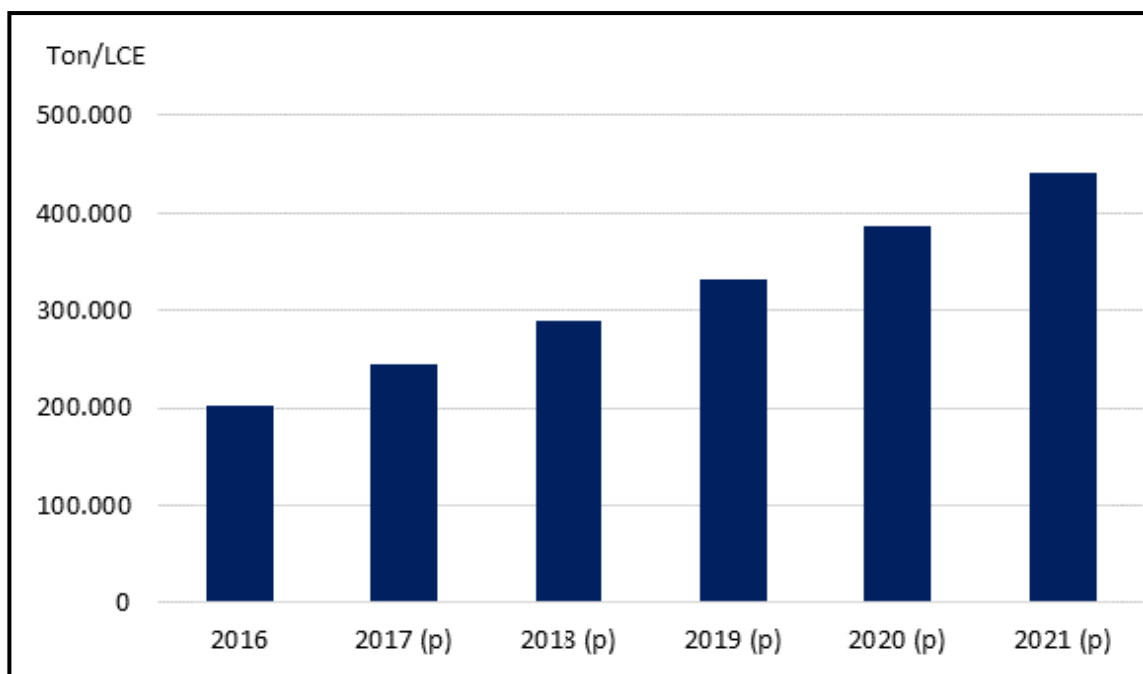
Entre las propiedades más significativas del litio se puede observar su alto calor específico, el enorme intervalo de temperatura en estado líquido (181°C a 1342°C), la alta conductividad térmica, baja viscosidad y una densidad de 0,53g/cm³ (COCHILCO, 2013). Es por esto que el litio tiene variadas aplicaciones, tales como: fabricación de vidrios y cerámicas para mejorar la resistencia a cambios de temperatura, grasas y aceites para resistir el calor, aleaciones junto con el aluminio y cobre para alivianar componentes estructurales en la industria aeronáutica, fármacos para estabilizar el ánimo y el más demandado, es para el uso de baterías utilizados en la fabricación de celulares, computadores portátiles, vehículos híbridos y eléctricos.

En Sudamérica se ubica el triángulo del Litio compuesto por Bolivia, Argentina y Chile, con los yacimiento del Salar de Uyuni, el Salar del Hombre Muerto y el Salar de Atacama respectivamente (COCHILCO, 2017), donde se ha reconocido el 54% de recursos de litio a nivel mundial

En el año 2017 la producción mundial fue de 230 mil toneladas de carbonato de litio equivalente, con un crecimiento a un ritmo de 20 mil toneladas por año. Australia (43%) y Chile (32,7%) son los mayores productores, mientras que Corea, Japón y China son los mayores consumidores de Litio. (USGS, 2018).

El Carbonato de Litio es el producto final de minería del litio desde salares y contiene 18% de Litio.

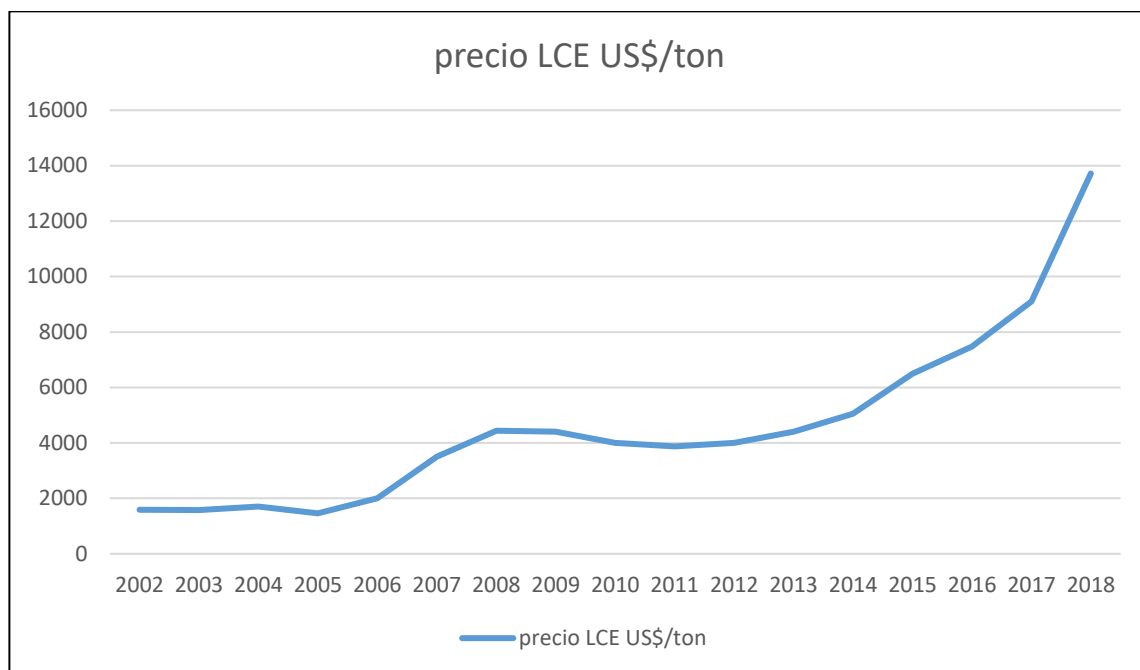
Gráfico 1: Proyección de Oferta 2017-2021



Fuente: COCHILCO, 2017.

El mercado del litio se encuentra en un ciclo ascendente, cuyo ritmo se ha acelerado en los últimos años como se demuestra en el Gráfico 1. Debido a los tiempos requeridos para poner en marcha proyectos de gran escala, la oferta no alcanzó a dar una respuesta inmediata, lo que ha generado fricciones en el mercado que incidieron considerablemente en los precios llegando a los 14.000 dólares la tonelada de carbonato de litio en la actualidad. En el Gráfico 2 se puede observar la variación del precio entre los años 2002-2018.

Gráfico 2: Variación Precio del Carbonato de Litio.

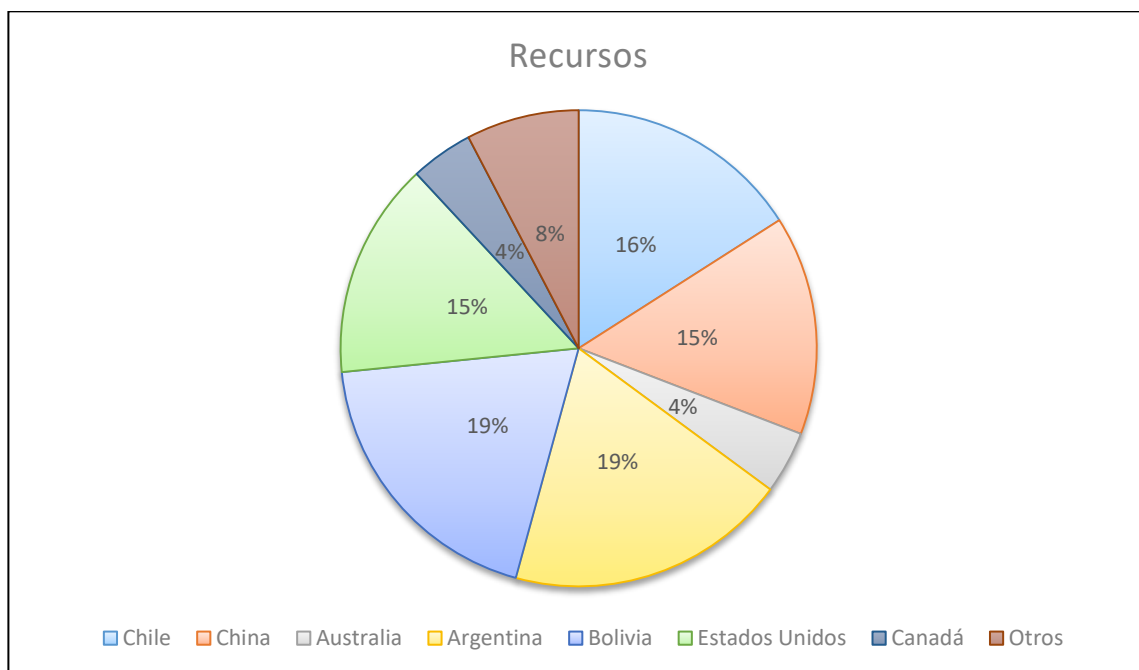


Fuente: Elaboración propia con base a USGS, 2016 y COCHILCO 2017.

I.1.1 Recursos de litio

Los recursos de litio han aumentado últimamente desde 36 Mt a 47 Mt de Litio metálico para este año, según COCHILCO y USGS, debido al descubrimiento de nuevos depósitos, tanto en salares como rocas pegmatíticas. También ha influido las estimaciones inconsistentes por concentraciones de litio diferidas en cada yacimiento. Los mayores recursos se encuentran en el triángulo del Litio que los contemplan Argentina, Bolivia y Chile representados en el gráfico 3.

Gráfico 3: Recursos de Litio.



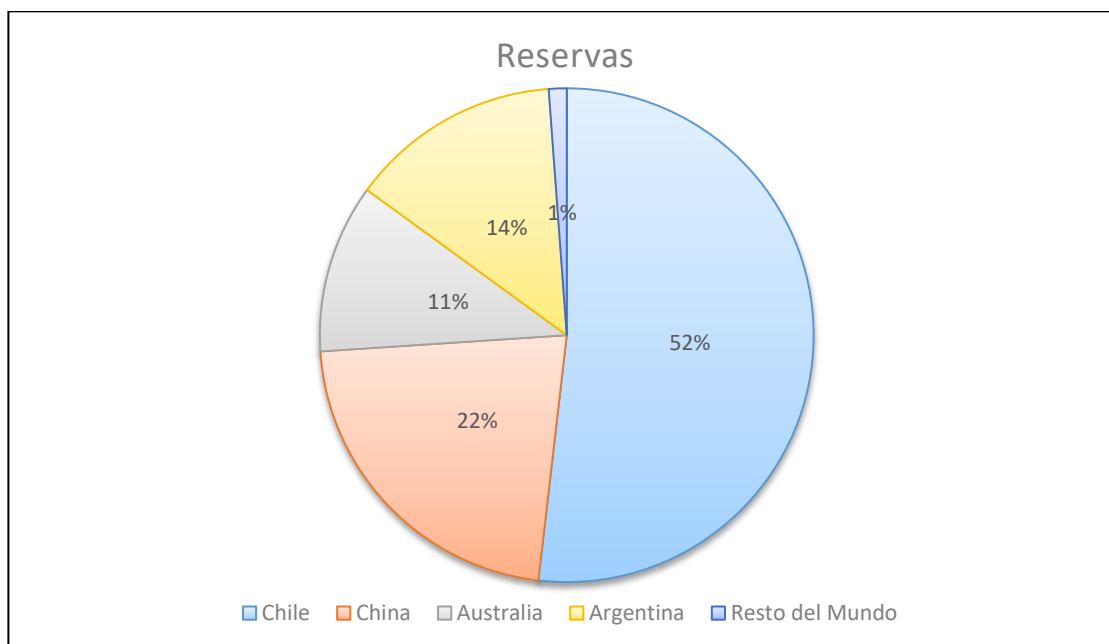
Fuente: Elaboración a partir de datos de COCHILCO, 2017.

I.1.2 Reservas de Litio

Como se muestra en el gráfico 4, la mayor cantidad de reservas mundiales se encuentran en Chile, con el 52% del total, seguido de Argentina con el 14% y China con 22% que provienen de salares y Australia con el 11% a través de rocas pegmatíticas (COCHILCO, 2017).

Las reservas mundiales de litio se estiman en 14,5 millones de toneladas, siendo Chile el país con mayores reservas probadas con 7,5 millones de toneladas en el Salar de Atacama y el Salar de Maricunga.

Gráfico 4: Reservas de Litio.



Fuente: elaboración a partir de datos de COCHILCO, 2017.

II.2 Historia del litio en Chile

En Chile comenzó a conocerse el Litio debido a las altas concentraciones salinas en aguas densas denominadas salmueras en el Salar de Atacama, como resultado de exploración industrial realizadas por la empresa Anaconda Cooper Mining Company, operadora del yacimiento de Chuquicamata en el año 1962. Esto llegó a conocimiento de Foote Mineral Company uno de los mayores productores de litio del mundo que, a mediados de 1974 estableció contacto con la Corporación de Fomento a la Producción (CORFO), dueña de las concesiones del Salar de Atacama, con la cual suscribió un contrato el año 1975 para realizar trabajos de exploración e investigación en el Salar de Atacama (Lagos, 2012).

II.2.1 Litio sustancia no concesible

En octubre de 1979 el Decreto Ley 2.886 declaró al litio como sustancia no concesible debido a su potencial uso en reactores de fusión nuclear. Todo comenzó en 1965 con la creación de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN), cuya Ley (N° 16.319) establece que todo lo relacionado con material atómico natural o aplicable para la producción de energía nuclear “no podrían ser objeto de ninguna clase de actos jurídicos sino cuando ellos se ejecuten por la CCHEN, en conjunto con ésta o autorización previa”. En 1975 se indica que el

litio es un material de interés nuclear aun cuando no se hallaba reservado al Estado, sino de libre renunciabilidad a través del reglamento de “Términos nucleares”. En 1976 la CCHEN podía expropiar los materiales de interés nuclear una vez extraídos a través del Decreto Ley 1.557 (Lagos, 2012).

El litio se declaró no concesible por los riesgos que significaba que Chile lo vendiera a quienes trabajan temas nucleares, por lo tanto, aquellos tenedores de concesiones que estaban amparados por el código de minería vigente al año 1979, tienen la libertad de explotar el litio. No es una libertad, pues deben cumplir con la normativa ambiental, con los permisos requeridos y pedir autorización a la CCHEN, pero tienen derecho al ser acreedores de la pertenencia (Lagos, 2012).

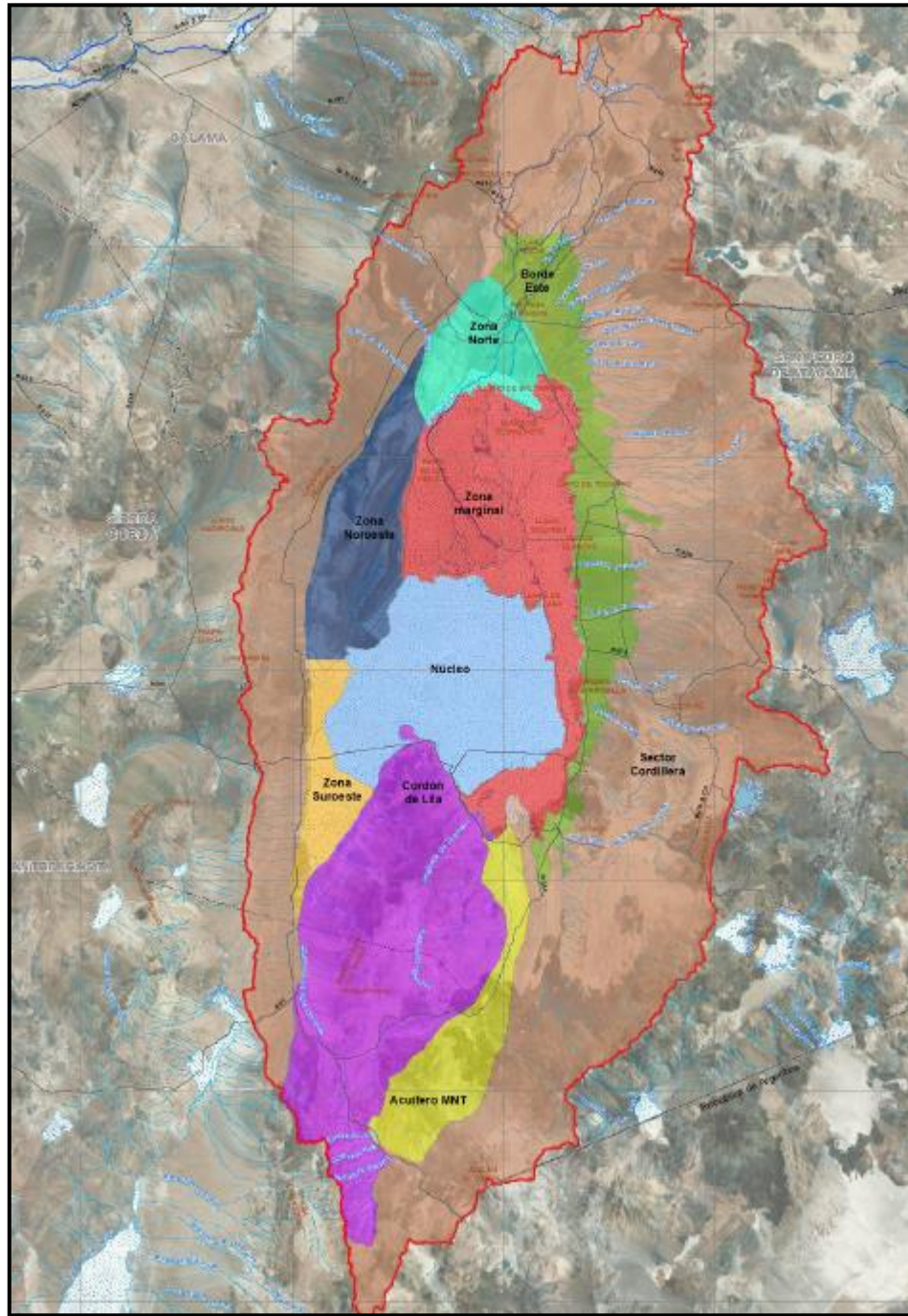
A modo de síntesis, para explotar litio en Chile se necesita de un arriendo de la concesión antes del año 1979 y para establecer una cuota de litio se debe pedir la autorización a la CCHEN, finalmente contar con la aprobación ambiental del SEIA y su respectivo plan de cierre aprobado por SERNAGEOMIN.

Hoy existen dos operaciones: Albemarle (Rockwood) y SQM (Sociedad Química y Minera). Ambas bajo el alero de pertenencias de CORFO y que fueron entregadas en concesión antes del año 1979 y ahora son arrendados.

II.3 Geología del Salar de Atacama

El yacimiento más importante a nivel mundial, es el Salar de Atacama con 3.000 Km² y a 2.300 m.s.n.m. y se encuentra ubicado entre la Cordillera de Domeyko y la Cordillera de los Andes. Tiene una depresión central ocupada por costra salina o núcleo de 1.100 Km² saturada en NaCl y rodeada de una zona marginal de limos salinos de 2.000 Km² de superficie. En el núcleo, el 90% de su contenido es Halita porosa de alrededor de 30 a 40 metros de profundidad impregnada con salmuera intersticial rica en litio, con una concentración de 0,15% promedio y una química muy favorable en comparación a otros salares (Alonso, Risacher, 1996), la Ilustración 1 muestra los sectores del Salar de Atacama.

Ilustración 1: Sectores del Salar de Atacama.



Fuente: CMNM, 2018. Modelo Hidrogeológico Consolidado Salar de Atacama.

La alta carga salina proviene de la disolución de minerales evaporíticos en rocas sedimentarias existentes alrededor del Salar y también otras fuentes volcánicas, como la oxidación del azufre y de los sulfuros de cuerpos mineralizados (Alonso, Risacher, 1996).

La mayor parte de los componentes de litio están asociados al volcanismo, proveniente de aguas termales que señalan que los sistemas geotérmicos de aguas moderadamente salinas a alta temperatura, por encima de los 200°C, lixiviaban selectivamente el Li de las rocas volcánicas (Ericksen, 2000).

Las condiciones que favorecen la concentración de litio en los Salares son (Ericksen, 2000):

- Edad relativamente vieja de las cuencas, desde el pleistoceno temprano.
- La relación Cuenca/Salar grande, lo que podría contribuir al alto grado de concentración de aguas salinas.
- El alto grado de cierre de la cuenca, de manera que la pérdida de agua por flujo superficial o subterráneo era mínima.
- Flujo abundante de riolita rica en solución salina, toba sometida a lixiviación y propagación.

II.3.1 Ventajas del Salar de Atacama

Una de las ventajas que convierten a este Salar en el más atractivo de todos es el clima del sitio de emplazamiento con una alta tasa de evaporación y baja precipitación por año. Por otra parte, la infraestructura de acceso, que cuenta con facilidad de conexión a puertos y la principal ventaja, son las reservas de gran calidad de mineral. La Tabla 1 resume las variables que hace del Salar de Atacama el más eficiente para explotar litio.

Tabla 1: Factores que determinan bajos costos de extracción de litio en salmueras.

Variable	Efecto
Concentración de litio	Mayor concentración de litio, mayor recuperación.
Superficie del salar	El área determina la cantidad de salmuera.
Concentración de potasio	El potasio es un subproducto del litio, aumenta ganancias y baja costos operacionales.
Relación entre magnesio y litio	Mayor relación Mg/Li, mayores costos de extracción.
Clima	Tasa de evaporación alta y baja precipitación, más factible el uso de piscinas de evaporación solar.

Fuente: COCHILCO, 2013.

II.3.2 Clima del Salar de Atacama

El Salar de Atacama se caracteriza por ser extremadamente árido con una temperatura media anual de 17°C, con una humedad relativa seca de 14%, una precipitación promedio anual de 20 mm y la evaporación extrema de 3700

mm/año. Estas condiciones favorecen el proceso de producción, a lo que se suma la alta radiación solar en el salar.

II.3.3 Características de los Salares

De acuerdo a la Tabla 2, el Salar de Atacama es el más atractivo para la explotación del Litio debido al clima árido que favorece la alta evaporación lo cual hace factible la tecnología de piscinas de evaporación solar, debido a la alta concentración de Litio y una relación de magnesio/litio moderada que favorece la recuperación. Además del Salar de Atacama, dentro del territorio chileno existe el Salar de Maricunga y el Salar de Pedernales, que en la actualidad están preparando proyectos para extraer derivados de litio.

Tabla 2: Comparación de salares.

Salar	Li (ppm)	Mg/Li	Evaporación (mm/año)	Superficie (Km ²)	Altura (m.s.n.m.)
Atacama (Chile)	1.500	6,4	3.700	3000	2.300
Maricunga (Chile)	800	6,6	1.200	145	3.760
Hombre Muerto (Argentina)	690	1,4	2.775	600	4.300
Zhabuye (China)	680	0,001	2.300	243	4.420
Pedernales (Chile)	400	8,7	1.200	335	3.370
Uyuni (Bolivia)	350	19	1.500	12.000	3.650
Silver Peak (Estados Unidos)	230	1,5	900	80	1.300

Fuente: COCHILCO, 2013

II.4 El salar y minería

Según el Código de Minería:

“Se entiende por salar el depósito salino superficial, constituido por una costra salina de espesor variable, con soluciones salinas ocluidas que descansa generalmente sobre material detrítico, como arcilla, limo, arena u otros similares, en una cuenca cerrada o con escaso drenaje, que constituye su basamento”

La salmuera se considera un recurso mineral, debido a sus características de mayor densidad y conductividad gracias a sus contenidos salinos.

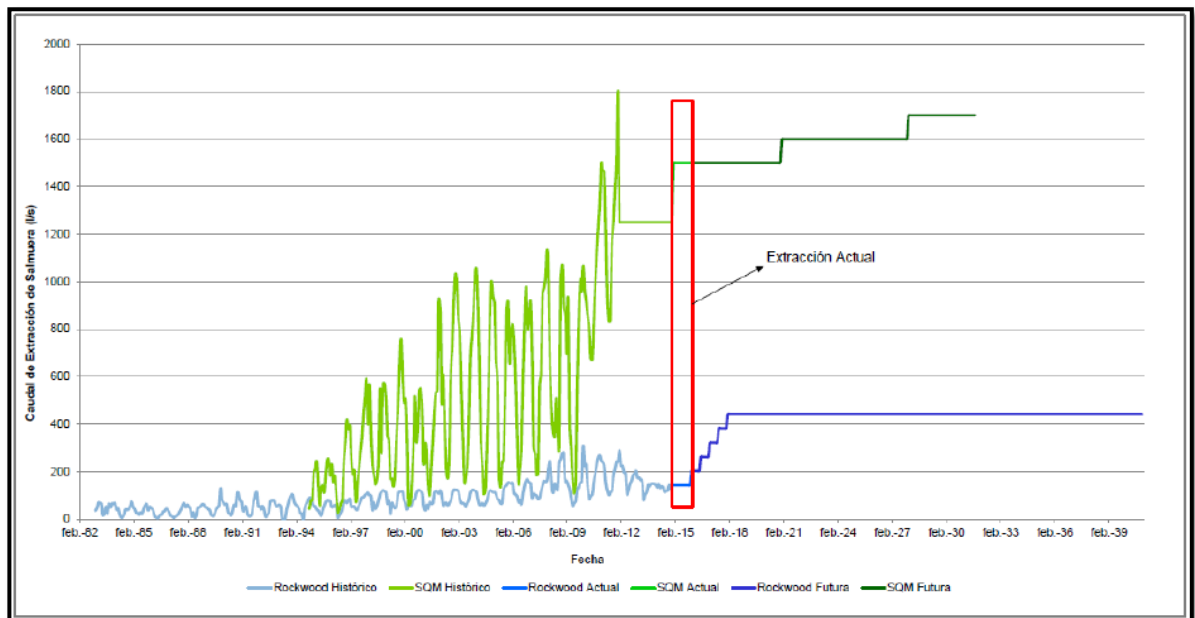
La extracción de salmuera que se realiza desde el Salar de Atacama, comenzó con Sociedad Chilena del Litio, hoy Albemarle. En el año 1983, comenzó con una extracción promedio de 48,6 l/s y desde el año 1997 incrementó su extracción progresivamente hasta superar los 100 l/s en el año 2005. En el año 2015 alcanzó una extracción de 142 l/s y en el 2016 se aprobó

una cuota adicional de 300 l/s mediante incrementos semestrales de 60 l/s, con un total de 442 l/s en la actualidad.

La segunda empresa en extraer salmuera del salar fue MINSAL Ltda, hoy SQM. En el año 1994 explotó un promedio de 70 l/s. En el 2006 aumentó la extracción de salmuera a 750 l/s, con una regla operacional a raíz de su RCA que establece máximos de 1500 l/s (años 2015 – 2020), 1600 l/s (años 2021 – 2027) y hasta 1700 l/s (años 2027 – 2030).

La regla operacional consiste en realizar la reinyección de salmuera residual a través de bitters (reinyección directa) y por lixiviación de sales de descarte con salmuera residual (reinyección indirecta).

Gráfico 5: Extracción histórica de salmuera en Salar de Atacama.



Fuente: Plan Seguimiento Ambiental, 2015. Albemarle.

La compañía Albemarle obtiene como producto principal los compuestos de litio y, como subproducto, sales de potasio. En la actualidad, alcanza una producción de 88.000 ton/año de carbonato de litio y 4.500 ton/año de cloruro de litio (equivalente a 6.000 ton/año de LCE) llegando a una producción total de 94.000 ton/año de LCE y 218.000 ton/año de sales de potasio.

Por otro lado, SQM, obtiene como producto principal las sales de potasio con 2.000.000 ton/año y, como subproducto, los compuestos de litio. Por esta

razón, extrae un caudal mayor para satisfacer la producción de sales de potasio y solo tiene aprobado una producción de 70.000 ton/año de carbonato de litio y 32.000 ton/año de hidróxido de litio. En Julio de 2018, la empresa presentó una Declaración de Impacto Ambiental para aumentar la producción de carbonato de litio a 180.000 ton/año.

II.5 Proceso de producción

El proceso para recuperar litio a partir de las salmueras del Salar de Atacama fue desarrollado por Foote Mineral para SCL y adoptado, con algunos cambios, por SQM.

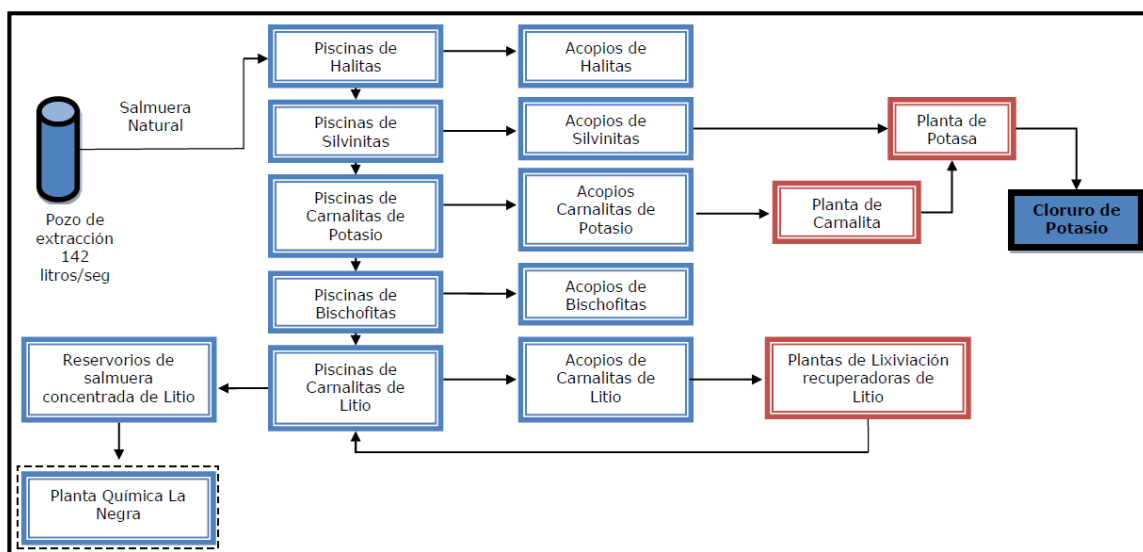
Las salmueras se extraen del salar mediante bombas de pozo, desde una profundidad de 30 a 50 metros y se envían a las piscinas de evaporación solar con dimensiones del orden de 1,5 metros de profundidad y una sección de 600m x 800m o mayores, donde la salmuera de 0,15% de litio se concentra, debido a la evaporación del agua, lo que lleva a la precipitación de las sales contenidas hasta alcanzar un 6% de litio en forma de cloruro de litio. El proceso se demora entre 10 a 24 meses, dependiendo del clima del entorno (Wilkomirsky, 2009).

La composición de la salmuera tiene presencia de otros elementos como potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro, boro, bromo, cloro, nitratos, cloruros, sulfatos y carbonatos.

La primera sal en precipitar es la halita (NaCl) y el sulfato de calcio hidratado, la segunda en precipitar es la silvinita ($\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$) y luego silvita (KCl), la tercera es la carnalita de potasio ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y luego la bischofita ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Hasta esta etapa de proceso, la concentración de litio es cercano a 4,5% con un contenido de magnesio del orden de 4% y termina el proceso obteniendo Carnalita de litio ($\text{LiCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). El proceso continua en la planta de carbonato de litio y el proceso de producción puede continuar para aumentar su cadena de valor llegando a hidróxido de litio (Wilkomirsky, 2009). En la ilustración 2 se presenta el diagrama del proceso de producción y comienza con una salmuera con 0,15% de litio y termina con una salmuera de 6% de litio.

Ilustración 2: Proceso productivo de salmuera rica en litio.



Fuente: Poch, 2015. Plan de Cierre, Albemarle.

Del proceso de producción se generan residuos salinos que conforman las tortas de acopio provenientes de la precipitación de sales contenida en la salmuera.

II.6 Aspectos ambientales en etapa de operación

Según la ley 19.300, artículo 11, las actividades relacionadas con la minería son susceptibles de generar impactos ambientales. Debido a lo cual, un proyecto minero debe someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Dependiendo de los impactos ambientales, el proyecto puede obtener su aprobación ambiental mediante una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o mediante un Estudio de Impacto Ambiental. La obligación de presentar un EIA sólo es requerido si se presentan alguna de las siguientes características o circunstancias como lo indica la ley 19.300 en su artículo 11:

- A) Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos.
- B) Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire.
- C) Reasentamiento de comunidades humanas, o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos.

- D) Localización en o próxima a poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos y glaciares, susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar
- E) Alteración significativa en términos de magnitud o duración del valor paisajístico o turística de una zona
- F) Alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.

Los componentes con mayor impacto debido a la extracción de salmuera son el balance hídrico, interfaz salina y la generación de sales de descarte, que se analizan más adelante. En la tabla 3 se presenta un resumen con los principales efectos ambientales asociados a las operaciones de obtención de Litio.

Tabla 3: Efectos ambientales de la minería del Litio

Artículo 11	características	efecto
b	Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire.	Los efectos repercuten en la zona de acuíferos producto de extracciones de salmuera y agua que generan descensos de altura del nivel de agua de los sistemas lagunares y de salmuera en el núcleo del salar.
d	Localización en o próximas a poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos y glaciares, susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar	Emplazamiento en áreas donde existen flamencos considerados como vulnerables y protegidas por la ley 4.601 sobre caza. Esta especie encuentra su principal sitio de nidificación a nivel mundial en los sistemas lacustres del Salar de Atacama. Reserva Nacional Los Flamencos, sitio declarado por la convención internacional RAMSAR. Áreas de protección de acuíferos que alimentan Vegas y Bofedales de la región.
e	Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona.	Emplazamiento en una zona de interés turístico, el área de San Pedro de Atacama, Cuenca geotérmica del Tatio.

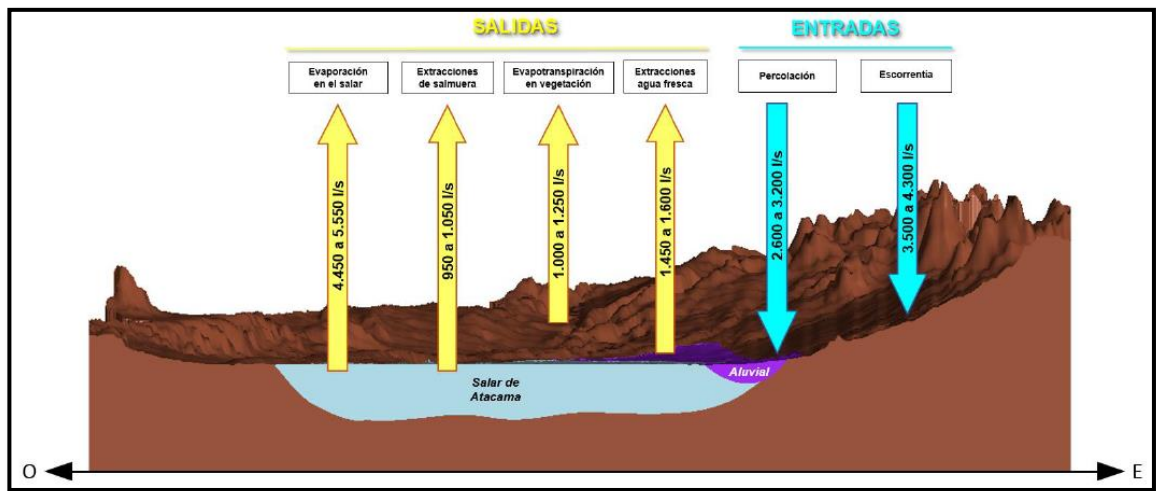
Fuente: RCA 21/2016.

II.6.1 Balance Hídrico

En el núcleo del Salar se producen recargas debido a percolación y escorrentías y sus descargas debido a la evaporación, evapotranspiración, extracción de salmuera y agua fresca, lo que genera variaciones en la altura del nivel de la salmuera.

La recarga natural al Salar de Atacama, estimada conceptualmente en un informe elaborado por el Comité de Minería No Metálica, alcanzó a 6.100 a 7.500 l/s y una salida de 7.850 a 9.450 l/s, estimando un déficit de 1.750 l/s de almacenamiento en el acuífero en el periodo correspondiente a los años 2000 a 2015 como se muestra la Ilustración 3, lo que indica que la cuenca está siendo sobreexplotada.

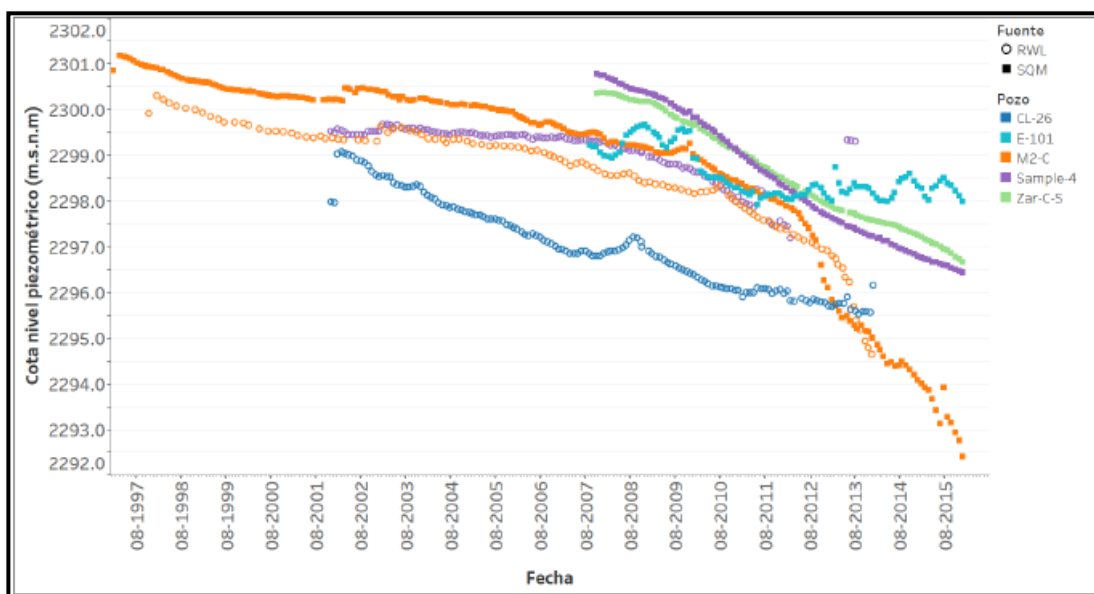
Ilustración 3: Balance hídrico del acuífero Salar de Atacama en régimen de explotación.



Fuente: CMNM, 2018. Modelo hidrogeológico Conceptual del Salar de Atacama.

La recarga al núcleo del salar proviene principalmente de los acuíferos colindantes y ocasionalmente por agua de lluvia que infiltra directamente mientras que la descarga debido a la extracción de salmuera y agua dulce, provocan desniveles en la costra salina generando un efecto de subsidencia o cono depresivo en el núcleo de salar. En el Gráfico 6, se observa la evolución temporal del nivel piezométrico del nivel de altura m.s.n.m. de la salmuera del año 1997 al 2015.

Gráfico 6: Evolución de los niveles piezométricos del núcleo sector suroeste del Salar de Atacama.



Fuente: CMNM, 2018. Modelo hidrogeológico Consolidado del Salar de Atacama.

Los descensos de niveles tienen relación con el aumento de extracción de salmuera del año 2012 con una totalidad de 2000 l/s aproximadamente, como lo indica la extracción histórica del Salar de Atacama en el Gráfico 6. Este caso se complementa con los hundimientos de ese sector mencionados en el plan de cierre de Albemarle del año 2015, esto indica que a menor altura de salmuera, más débil es la costra salina. En la actualidad la extracción de salmuera aprobada para las dos empresas en conjunto es de 2142 l/s por año, por lo que estos niveles seguirán descendiendo y probablemente por efecto del cambio climático las recargas naturales hacia el salar serán inferiores o mayores a la actualidad, sólo dependiendo de lluvias ocasionales que estabilizaran la altura de la salmuera en el núcleo.

II.6.2 Interfaz salina o cuña salina

La diferencia entre la salmuera y el agua dulce corresponde en la concentración de sales contenidas en el líquido. La salmuera contiene una mayor cantidad de sales, debido a la saturación tiene una mayor densidad ($1,22 \text{ ton/m}^3$) en relación con el agua (1 ton/m^3). El núcleo donde se encuentra la salmuera está rodeado por una zona marginal que contiene aguas dulce y salobre y, debido a su composición fisicoquímica, provoca una cuña salina o interfaz salina, dando origen a la separación de estos líquidos por la diferencia de densidades.

Los principales aportes al núcleo salino se determinan en 3 secciones:

Tabla 4: Estimación recarga al núcleo.

	Acuífero aluvial borde este y borde sur (sección 1)	Acuífero aluvial borde norte – zona marginal (sección 2)	Acuífero MNT (sección 3)
Sección (m)	72.300	29.100	9.800
Caudal mínimo (l/s)	3.280	100	300
Caudal máximo (l/s)	3.350	300	450
Porcentaje por sección	89% - 83%	3% - 7%	8% - 11%

Fuente: CMNM, 2018. Modelo hidrogeológico consolidado del Salar de Atacama.

En la ilustración 4, se muestra la ubicación de las recargas al núcleo del salar por sección, donde se identifica la interfaz salina, esta sólo se encuentra en el sector norte, este y sur, y no se ha identificado al oeste ya que no existe interfaz salina entre salmuera y agua por lo que la recarga por este sector se considera despreciable. Por ende, las recargas al núcleo y extracciones tanto natural como de producción prevé que la interfaz salina se modificará acercándose cada vez al núcleo y la zona marginal obteniendo una mayor área y provocar un aumento de almacenamiento de agua.

Debido a la extracción de salmuera y a la recarga de agua al núcleo, la interfaz salina sufriría cambios de ubicación, acercándose cada vez más al centro, es en ese instante donde el núcleo comienza a disminuir su almacenamiento y la zona marginal lo aumenta.

Ilustración 4: Recarga al núcleo del salar.



Fuente: CMNM, 2018. Modelo hidrogeológico consolidado del Salar de Atacama.

II.6.3 Sales de descartes en acopios

El residuo que se obtiene de las salmueras son las sales de acopio proveniente del proceso de producción, son clasificadas por las compañías como residuo sólido industrial y se considera como un botadero de estériles, por lo que requiere un permiso ambiental sectorial mixto (PAS 136), que debe velar por la estabilidad física y química con el fin de proteger el medio ambiente y la seguridad de las personas. En el caso de las dos compañías existentes en el área (SQM y Albemarle) los sitios de acopios están emplazados dentro del núcleo del salar.

Tabla 5: Composición de tortas de acopios de descarte.

Sal	Formula química
Halita y sulfato de calcio hidratado	(NaCl) y (CaSO ₄ .2H ₂ O)
Silvinita y silvita	(KCl*NaCl) y (KCl)
Carnalita de potasio	(KCl*MgCl ₂ *6H ₂ O)
Bischofita	(MgCl ₂ *6H ₂ O)

Fuente: Elaboración propia.

Estas sales de acopio es el derivado de las salmueras, son solubles en agua y la solución de estas da como resultado salmuera que puede ser adsorbida por el salar y mantener las cualidades propias de la cuenca.

Dentro de las reglas operacionales de extracción de salmuera de SQM, esta compañía realiza dos tipos de reinyecciones de salmuera al núcleo, la primera es de forma directa (bitterns) que ingresa salmuera residual directamente al salar y la otra manera, de forma indirecta, comprende de lixiviar con salmuera residual las sales de acopio y, a medida que se disuelven las sales, se reinyecta una salmuera con disoluciones de los acopios.

II.7 Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)

El SEIA establece un conjunto de procedimientos que tienen por objeto identificar y evaluar los impactos ambientales del proyecto, permitiendo diseñar medidas que reduzcan impactos ambientales negativos.

El SEIA establece que los Proyectos cuenten con estudios de línea de base que incluyen hidrología, hidrogeología, geología, geoquímica, flora y fauna, que permitan evaluar los efectos de las operaciones sobre estas componentes.

Como fue señalado en la Tabla 3, los principales efectos para este tipo de minería son aquellos derivados de la extracción de salmuera. Por esta razón se requiere contar con estudios para establecer un modelo que represente el funcionamiento del salar y su relación con los ecosistemas, que permitan contar con un modelo conceptual y estimar la dinámica del salar.

La salmuera tiene un comportamiento hídrico, ya que se compone de agua y un gran contenido de sales disueltas, pero su extracción no es regulada por la DGA, ya que es considerada como recurso mineral y requiere la aprobación ambiental. Sin embargo, la extracción de salmuera tiene los mismos impactos que la extracción de agua llegando a reducir acuíferos.

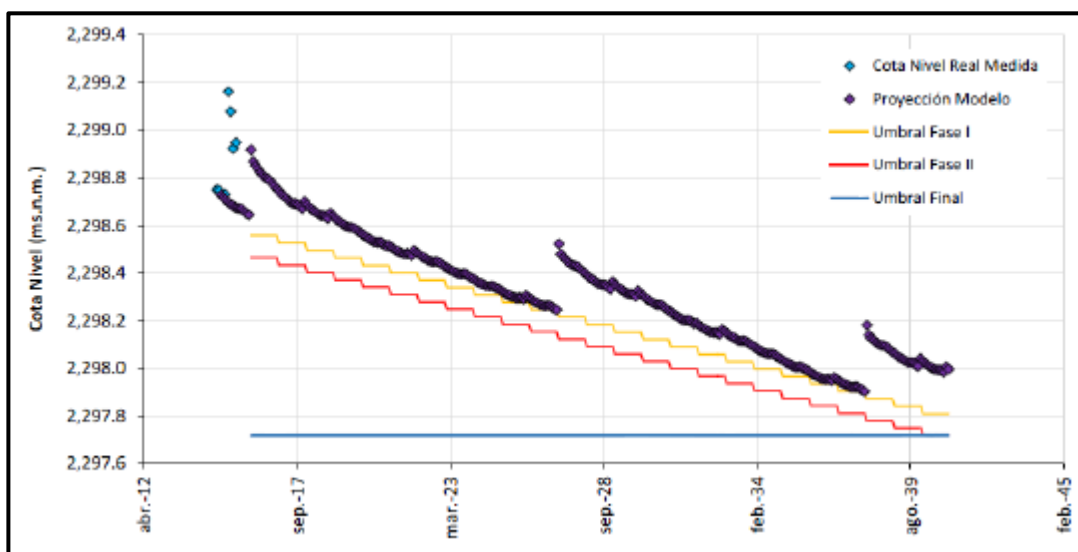
Para mitigar los impactos asociados de la extracción de salmuera desde el salar y proteger los sistemas sensibles cercanos, una herramienta útil para estos casos es la modelación numérica ya que debe ser capaz de reproducir el comportamiento del salar.

El modelo numérico es una plataforma para interpretar el flujo de agua subterránea y permite evaluar escenarios predictivos. Estos modelos son utilizados para representar las condiciones actuales del régimen de agua subterránea y simular el impacto en los recursos hídricos subterráneos de proyectos. El problema de esta herramienta es que lo acompañan incertidumbres externas que no están contempladas dentro del modelo conceptual, ya que este detalla los procesos más importantes y no recoge todos los fenómenos detalladamente. Para compensar estas incertidumbres se utilizan los Planes de Alerta Temprana (PAT).

Un PAT es una herramienta que realiza un seguimiento de indicadores de ciertos puntos para tomar acciones con tal de evitar impactos ambientales mayores, gracias al modelo hidrogeológico.

Los PAT condicionan la extracción de salmuera a un cierto nivel del núcleo de salar, como se muestra en el gráfico 7. Las acciones consisten en monitorear el nivel freático de distintos pozos y cuando este nivel sea inferior al umbral se activarán distintas medidas de contingencia como disminuir la extracción de salmuera o, incluso, pueden significar el cese de la extracción. De esta forma se mitiga el impacto ambiental sobre los acuíferos, vegas y bofedales que pueden verse afectados. Cuando estos efectos no deseados pasan cierto umbral desencadenan problemas en el proceso productivo y obligan a reducir el caudal de salmuera de manera sustentable.

Gráfico 7: Umbrales para el pozo PN-05B en el tiempo.



Fuente: Adenda V, Anexo 3 del EIA Modificaciones y Mejoramiento del sistema de pozas de evaporación solar en el Salar de Atacama.

Como cada titular tiene su propia línea de base, en base a esto originan un modelo numérico y un PAT distinto para cada compañía, cada uno tiene su área de explotación acotada y su información es de propiedad de cada titular y por lo general no es pública. Entonces cada actor está obligado a modelar la cuenca del salar completa con solo una parte de la información. En el Salar de Atacama existen cuatro modelos numéricos distintos que definen el comportamiento completo del salar con información diferida.

El problema actual, es la diferencia de medidas preventivas de cada compañía que interfieren una de la otra, es por esto que se está elaborando un modelo hidrogeológico numérico para toda la cuenca del Salar de Atacama y así resolver este problema, donde se modificaran los planes de alerta temprana para obtener una mejor sostenibilidad y mitigar de forma óptima los impactos ambientales considerando un manejo adecuado de la cuenca.

Básicamente los recursos hidrológicos y del agua son gobernados por 3 factores (Pérez y Shinomi, 2005):

- 1) Factores hidroclimáticos: precipitación, evaporación, temperatura, radiación solar, viento, entre otras.
- 2) Factores geomorfológicos: topografía, geología y suelo (costra salina).

- 3) Intervención humana sobre el medio ambiente: como es el uso de salmuera y agua.

Normalmente, los dos primeros se mantienen en equilibrio regulado por el ciclo del agua. Sin embargo, cuando interviene el hombre con sus procesos de extracción independiente de la industria, se producen cambios que alteran la naturaleza, provocando trastornos sobre el medio ambiente. Así lo indica el modelo hidrogeológico del Salar de Atacama realizado por el Comité de Minería no Metálica en los años 80, cuando el balance hídrico se encontraba en equilibrio porque no existían extracciones mayores de recursos desde el salar y, en cambio, para el periodo 2000 a 2015 se observa un desequilibrio hídrico provocado por la intervención humana.

Sólo cuando los tres elementos señalados precedentemente funcionan coordinadamente y en forma responsable, es factible tener una minería sustentable para tener cuencas sanas que permitan una mejor calidad de vida tanto de personas y del medio ambiente.

II.8 Ley que regula el cierre de faenas

El Estado asume que las actividades mineras son susceptibles de generar impactos ambientales, por lo que al momento de cierre se debe minimizar el daño ambiental que conlleva la industria de la minería y el riesgo que afecte a las personas.

Las antiguas faenas mineras abandonadas constituyen una gran cantidad de pasivos ambientales. Para frenar el crecimiento del pasivo, las autoridades establecieron un marco conceptual para desarrollar un documento de plan de cierre donde se planifica conceptualmente la etapa de cierre.

El 12 de noviembre de 2012 entró en vigencia la Ley N°20.551 que regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras y su respectivo Reglamento. Esta regulación tiene como objetivo principal resguardar la vida, salud y seguridad de las personas y del medio ambiente, a través del aseguramiento de la estabilidad física y química de las faenas que están o estarán en operación, estableciendo una serie de obligaciones vinculadas al cierre de las actividades mineras evitando la aparición de faenas abandonadas.

Los motivos al desarrollo de esta normativa según el SERNAGEOMIN fueron:

- Ausencia de una normativa específica, que regulara los aspectos negativos de la industria minera extractiva.
- Impedir la generación de Nuevas Faenas mineras Abandonadas.
- Ausencia de una garantía financiera que asegurara al estado, el cumplimiento de las medidas de cierre comprometidas por la empresa.

Y sus objetivos son:

- Resguardar la Vida, Salud y Seguridad de las personas y del Medio Ambiente.
- Mitigar los Efectos negativos de la industria minera extractiva.
- Asegurar la Estabilidad Física y Química de los lugares en que se desarrolle la Actividad Minera.

Crear un Fondo Post-Cierre para el Monitoreo de Faenas Cerradas. Todas las empresas mineras que deseen iniciar o reiniciar sus faenas, deben contar con un Plan de Cierre aprobado por el SERNAGEOMIN, según el artículo 3, letra n de la ley 20.551, el Plan de Cierre es el:

“documento que da a conocer sus medidas y actividades técnicas que la empresa minera debe efectuar desde el inicio de la operación minera, y el programa de detalle conforme al cual deben implementarse, de manera que tienda a prevenir, minimizar o controlar los riesgos y efectos negativos que se puedan generar en la vida e integridad de las personas que se encuentran relacionadas directa e inmediatamente a las mismas, así como mitigar los efectos de la operación minera en los componentes medio ambientales comprometidos, tendientes a asegurar la estabilidad física y química de los lugares en ésta se realice”

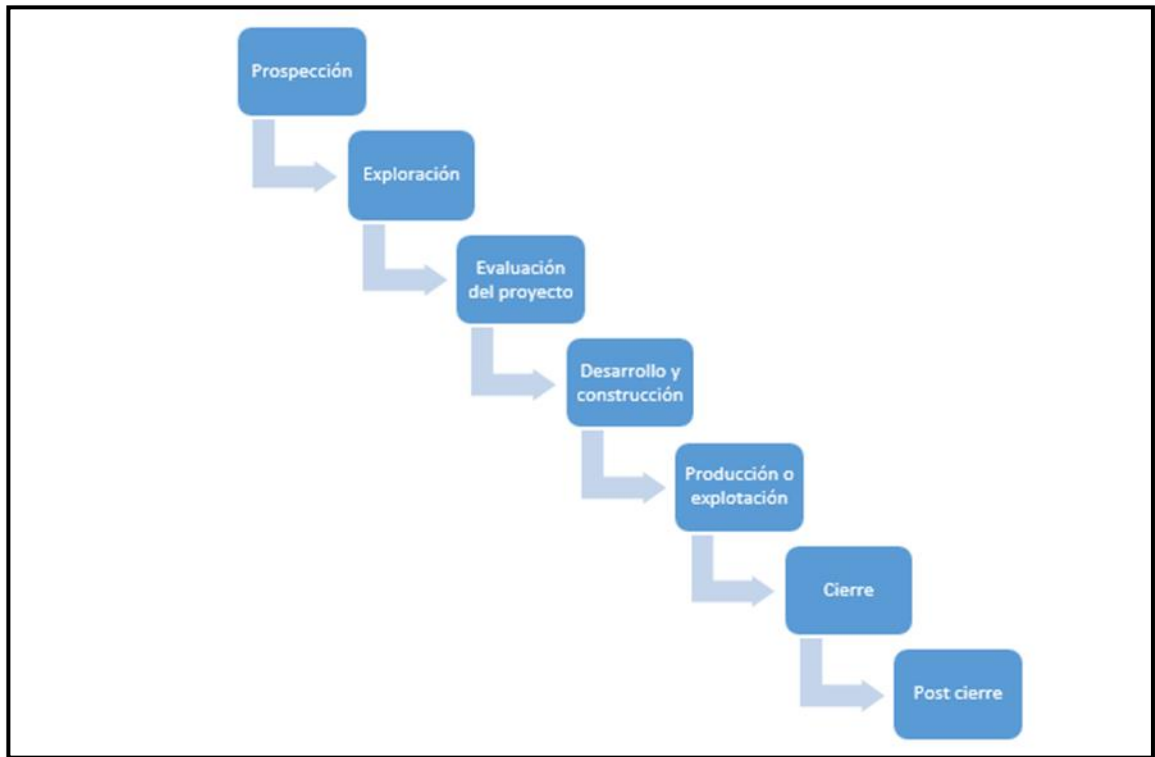
Y según el artículo 3, letra o de la ley 20.551, el Post cierre es:

“etapa que sigue a la ejecución del Plan de Cierre, que comprende las actividades de monitoreo y verificación de emisiones y efluentes y, en general, el seguimiento y control de todas aquellas condiciones que resultan de la ejecución de las medidas y actividades del Plan de Cierre, para garantizar en el tiempo de

estabilidad física y química del lugar, así como el resguardo de la vida, salud, seguridad de las personas y medio ambiente”.

Esto indica que al terminar la vida del yacimiento se debería ejecutar la etapa de Cierre y, a continuación, la etapa de Post-Cierre. Para lo cual, cada faena minera deberá elaborar un plan con el conjunto de medidas para dejar estables las instalaciones que permitieron realizar la explotación de minerales y desarrollar procesos de transformación hasta la obtención del producto final.

Ilustración 5: Etapas de un proyecto minero.



Fuente: Elaboración propia a través SONAMI, 2012

II.8.1 Procedimientos de Plan de Cierre

De acuerdo a Ley, dos son los tipos de procedimientos para la aprobación de plan de cierre según capacidad de producción de la faena minera.

El primero es el Procedimiento de Aplicación General que consiste en aquellas empresas mineras cuyo fin sea la extracción o beneficio de uno o más yacimientos mineros con una capacidad de extracción de mineral superior a 10.000 toneladas mensuales y, el segundo, el Procedimiento Simplificado con una extracción de mineral inferior o igual a 10.000 toneladas mensuales.

II.8.2 Tipos de Plan de Cierre

La Ley 20.551, establece tres tipos de Plan de Cierre. El Cierre Parcial que corresponde a las actividades de cierre respecto de una parte de la faena minera, el Cierre Temporal, contempla un cierre por un determinado tiempo y el Cierre Final que corresponde a la ejecución de todas las medidas y actividades en el plan de cierre para la faena minera.

Los planes de cierre presentados por las compañías que se encuentran operando en el Salar de Atacama han presentado sus Planes de Cierre bajo el procedimiento de Aplicación General y abarca la totalidad de sus instalaciones.

II.8.3 ¿Por qué se estableció la ley 20.551?

Esta ley se estableció para regular el cierre de faenas e instalaciones mineras e incorporar un mecanismo de garantías financieras para asegurarse que al final de la vida útil los fondos estén disponibles y, en caso de abandono, el Estado pueda hacerse cargo de la etapa de cierre y post cierre a través de hacer efectiva esta garantía. Lo que quiere decir es que el titular debe de constituir una garantía financiera por un monto que permita materializar el conjunto de medidas propuestas y aprobadas por la autoridad para las etapas de cierre y de post-cierre.

El objetivo de la constitución de garantías es para asegurar el cumplimiento íntegro y oportuno de las obligaciones de cierre que asume un proyecto minero que se desea desarrollar.

II.8.4 Importancia de la vida útil y determinación de la garantía

Otro de los temas relevantes para regular el cierre era establecer la vida útil, teniendo en consideración que ésta varía en la medida que se van descubriendo nuevos recursos minerales y los precios de los metales. En este sentido, es muy normal que las empresas van encontrando pequeños cuerpos satélites que le permiten continuar con sus operaciones por muchos años después de la proyección inicial. La Ley estableció que la Vida Útil es función de las reservas certificada por una persona competente en recursos y reservas mineras según la ley 20.235 dividido por el ritmo de extracción anual. Si la vida útil estimada es menor a 20 años, el total de la garantía debe ser puesta a

disposición de SERNAGEOMIN dentro de los dos tercios de esa vida útil. Si es mayor a 20 años debe estar a disposición en un periodo dentro de 15 años.

Para el caso de la minería del litio en el Salar de Atacama, su vida útil depende del arriendo de la concesión, siendo el dueño la CORFO que lo arrienda y determina un tiempo límite de explotación a través de un acto administrativo. La vida útil de SQM es hasta el 2030 y la de Albemarle hasta el 2043.

II.9 Evaluación de riesgos para instalaciones remanentes

La metodología de evaluación de riesgos utilizada por el SERNAGEOMIN busca, a través de procedimientos sistematizados identificar y evaluar los riesgos que pueden afectar a la salud y seguridad de las personas y del medio ambiente, después que han cesado la etapa de operación.

La evaluación del riesgo se establece como el producto de la probabilidad de ocurrencia de un evento y la severidad de las consecuencias asociadas a ese evento. Estos eventos pueden estar asociados a riesgos por contaminación o fallas estructurales que afecten a las personas y/o medio ambiente.

Capítulo III: Desarrollo del Proyecto

Los salares son ecosistemas complejos y frágiles debido a la gran acumulación de agua subterráneas, aguas superficiales y salmuera en una región que se caracteriza por ser desértica con una alta tasa de evaporación y baja de precipitación. Estos factores y sumado a las extracciones de agua y salmuera hacen del recurso hídrico en estas regiones un tanto escasas debido a la sobreexplotación de los mismos.

Dada su naturaleza, el litio proveniente de salmueras viene acompañado de sales de potasio, boro y magnesio. La salmuera tiene un comportamiento similar al agua, sin embargo, la diferencia entre ambas es que la primera está saturada en cloruro de sodio y otros compuestos. La extracción de salmuera tiene el potencial de afectar recursos hídricos tanto subterráneos como superficiales que alimentan el núcleo del salar.

III.1 Etapas de un proyecto minero en salares

El desarrollo de un proyecto minero está compuesto por las etapas de diseño, construcción, operación, cierre y el seguimiento post-cierre. En la etapa de diseño se establecen los procesos productivos, la infraestructura, equipos y maquinaria. Luego, durante la etapa de construcción comienza a dar forma las infraestructuras y comienzan a surgir los efectos ambientales donde se identifica primeramente las emisiones de material particulado debido al movimiento de tierras y modificación de la topografía para la construcción de piscinas, e instalaciones industriales para el proceso productivo.

La etapa de operación del área salar comienza con la extracción de la materia prima, es decir, el bombeo de la salmuera con un contenido del orden de 0,2% de litio para producir salmuera rica en litio con una concentración de 6%. En su proceso de producción se generan sales de descartes por precipitación y evaporación de agua contenida en la salmuera. Este tipo de faena se compone de cuatro secciones fundamentales: El sistema de piscinas de evaporación, pozos de extracción, las tortas de acopio de sales e instalaciones industriales.

La etapa de cierre que contempla la desmantelación de todas sus instalaciones industriales, pozos de extracción a excepción de las sales de acopio

y de las piscinas de evaporación dependiendo de la empresa que se indican en las tablas 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13.

La última etapa es la de Post cierre que consiste en el seguimiento y monitoreo de aguas y salmueras analizando sus niveles piezómetros y calidad fisicoquímica y estabilización de taludes para instalaciones remanentes.

Las instalaciones remanentes son las sales de acopio que son desechos que se generaron durante la etapa de operación y las piscinas de evaporación. Entonces, para los efectos de la siguiente investigación es relevante realizar un análisis de riesgo para las tortas de acopios, siguiendo la metodología del SERNAGEOMIN para la evaluación de análisis de riesgo.

III.1.1 Minería de Rocas y de Salares

La diferencia entre minería de rocas y de salmueras es el proceso de producción y de los tipos de instalaciones remanentes que dejan. La primera consiste en extraer la roca (sea rajo abierto o subterránea) para eventualmente, seguir con el proceso de chancado, molienda, etcétera, para alcanzar su cadena de valor que en caso de la industria del cobre es el concentrado o cátodo. Debido a esto, quedan como residuos masivos mineros los botaderos de estéril, depósitos de relaves y/o pilas de lixiviación. Estas instalaciones remanentes requieren de monitoreo y tecnología para evitar un posible drenaje ácido debido al contacto de metales pesados contenido en la roca y el agua proveniente de las precipitaciones, que podrían provocar contaminación a recursos hídricos afectando la estabilidad química, al igual como la estabilidad de taludes para evitar derrumbes y controlar la estabilidad física.

En cambio, la minería en salares consta de extraer la salmuera que se dispone en pozas de evaporación solar, donde se evapora el agua y precipitan las sales residuales que posteriormente se acumulan en acopios que quedarán como instalaciones remanentes al final de la vida útil.

III.2 Factores de la minería de salares

Dada la naturaleza de los salares, estos se encuentran conectados con acuífero que rodean del salar a través de las aguas y salmuera (cuña salina), llegando a ser una minería muy compleja por la interacción de recursos hídricos.

Por ende, tiene diversos factores que la hacen diferenciarse de la minería convencional.

III.2.1 Reversibilidad

La gran característica de esta minería es la capacidad de reversibilidad, considerando que la extracción de salmuera provoca efectos en los descensos de niveles piezométricos de salmuera y declive de niveles de altura de agua, al momento del cese de extracción (agua y salmuera), los niveles retomarían su situación a mediano o largo plazo dependiendo de las condiciones climáticas, características del salar y caudal de recarga. Esto quiere decir que al momento del cese de la extracción de agua y salmuera, se revierte de forma natural, ya que no será manipulada la descarga de recursos del salar en forma antrópica.

Lo mismo se considera para las sales de descarte, estas fueron precipitadas en el proceso de producción y estas pueden ser disueltas por agua o salmuera y dar una solución salina que ingrese nuevamente al salar.

III.2.2 Extensión

Otra característica es la extensión de los impactos que puede manifestar debido a la interacción de los proyectos mineros con los recursos hídricos, afectando a proyectos cercanos, flora y fauna, comunidades, entre otros. Cabe destacar que al margen de cada salar se busca resguardar la sustentabilidad de los sitios RAMSAR y áreas protegidas para la conservación que son afectados por la misma extracción de recursos.

III.2.3 Sinergia

Otro factor importante, es que los proyectos se emplazan en una misma cuenca lo que da una situación particular para la minería. Los recursos hídricos tienden a tomar la forma del recipiente en este caso la cuenca y los niveles de altura descenderán independiente de dónde sean sus puntos de extracción, de esta forma los proyectos no pueden ser evaluados como si fuesen independientes y resulta necesario vincular los impactos que genera cada uno para determinar los impactos acumulativos ocasionados en la cuenca.

III.3 Proyectos Mineros de litio

Para entrar en contexto a la fase de cierre de proyectos desde salares se tomarán como estudio los siguientes:

Tabla 6: Proyectos del Litio en Chile.

Empresa	proyecto	etapa	ubicación	Plan de Cierre
Albemarle	"EIA Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama"	operación	Salar de Atacama	aprobado
SQM	"Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama"	operación	Salar de Atacama	Aprobado
SIMCO	"Producción Sales de Maricunga"	En tramite	Salar de Maricunga	No
Minera Salar Blanco	"Estudio de Impacto Ambiental proyecto Blanco"	En tramite	Salar de Maricunga	No

Fuente: Elaboración propia a través del SEA.

III.3.1 Descripción de proyectos

Estos proyectos se caracterizan por tener un mismo origen de proceso de operación, que consiste en la precipitación de sales de la salmuera por evaporación debido a la radiación solar. Sus instalaciones se componen de pozos de extracción, piscinas de evaporación, acopio de sales de descarte e instalaciones industriales. Sus descripciones son las siguientes:

- a) "EIA modificaciones y mejoramiento del Sistema de Pozas de evaporación Solar en el Salar de Atacama": Este proyecto consiste de extraer un caudal de salmuera de 442 l/s, para producir salmuera rica en litio y compuestos de potasio, cuenta con Plan de Cierre aprobado para el área del Salar de Atacama y tiene una vida útil por contrato hasta el año 2043.
- b) "Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama": Este proyecto consiste en extraer un caudal de salmuera de 1500 a 1700 l/s y la capacidad de reinyectar salmuera residual de forma directa y a través de lixiviación de tortas de halita con salmuera residual. Produce salmuera rica en litio y su producto principal son compuestos de potasio.
- c) "Producción de Sales de Maricunga": este proyecto se encuentra en tramitación de su EIA, que consta de extraer 275 l/s de salmuera y una tasa de retorno de 140 l/s de salmuera al mismo salar, para producir compuestos de litio y potasio con una vida útil de 24 años.
- d) "Estudio de Impacto Ambiental proyecto Blanco": este proyecto se encuentra en tramitación de su EIA, que consta de extraer 204 l/s de salmuera y producir compuestos de litio y potasio con una vida útil de 20 años.

III.4 Etapa de cierre

De acuerdo con los contenidos establecidos en el Reglamento del SEIA, para la elaboración de DIAs y EIAs, los documentos deben identificar y evaluar los impactos en todas las etapas, incluyendo la etapa de cierre. Adicionalmente, el Reglamento del SEIA establece que en la DIA o EIA que se presente a calificación ambiental debe incluir los antecedentes relacionados con el Permiso Ambiental Sectorial correspondiente al Plan de Cierre (PAS 137).

Los proyectos mineros de litio proceden de la misma naturaleza y los mismos tipos de instalaciones, por lo que se aplican las mismas medidas de cierre. Sobre la base del análisis de la descripción de la Fase de Cierre disponible en el SEIA de los proyectos mencionados en la tabla 6, se resumen las siguientes medidas de cierre en la tabla 7:

III.5 Actividades de cierre en el Salar de Atacama

Como se mencionó anteriormente los proyectos ubicados en el Salar de Atacama se encuentran en operación y cuentan con documentos de Plan de cierre para cada compañía.

III.5.1 Caso Albemarle

Tabla 7: Medidas de Cierre aprobadas para Albemarle

Instalación	Referencia	Medida
Pozos de extracción	RCA 21/2016. punto 3.3.3 pág 10	Se retirarán las bombas de pozo profundo, tuberías y todos los accesorios. Cada boca de pozo será sellada.
Pozas de evaporación - concentración	RCA 92/2005 punto 5.4 pág 5 y RCA 0279/2017 tabla 4.3.3 pág 28	Retiro del geotextil y de la membrana de cloruro de polivinilo (PVC), y su disposición en un sitio autorizado. Los diques serán removidos, colocando dicho material en las tortas de halita. Recuperando la geoforma a la situación original
Sales de acopios	RCA 21/2016. punto 3.3.3 pág 10	Cierre de caminos de acceso. Acopios dejados tal cual.
Planta de Lixiviación de Carnalita	RCA 403/2013 punto 3.1.4.3.1. pág 9	Desmantelamiento en forma paulatina de todas las instalaciones industriales.
Planta de potasa	RCA 403/2013 punto 3.1.4.3.1. pág 9	Desmantelamiento en forma paulatina de todas las instalaciones industriales.
Planta de secado	RCA 403/2013 punto 3.1.4.3.1. pág 9	Desmantelamiento en forma paulatina de todas las instalaciones industriales.
Planta de lixiviación 01 y 02	RCA 403/2013 punto 3.1.4.3.1. pág 9	Desmantelamiento en forma paulatina de todas las instalaciones industriales.
Área de servicios	RCA 403/2013 punto 3.1.4.3.1. pág 9	Desmantelamiento en forma paulatina de todas las instalaciones industriales.
Líneas tendido eléctrico,	DIA 10/9/2018 Punto 1.7.1.2	Desmantelamiento de equipos y postación y transformadores se entregarán a fabricante para retiro de aceite y disposición a operador sanitario correspondiente.

transformadores y luminarias		
------------------------------	--	--

Fuente: RCAs aprobadas de Albemarle área salar.

III.5.2 Caso SQM

Tabla 8: Medidas de cierre aprobadas para SQM área abastecimiento

Instalación	referencias	Medida
Pozo de bombeo de salmuera y agua dulce	RCA 226/2006	Desmantelación y des-habilitación de pozos
Salas de acopio	RCA 252/2009	Dejados tal cual, instalación de señalética y cierre de caminos.

Fuente: SQM, 2014. Plan de Cierre faena Salar de Atacama.

Tabla 9: Medidas de cierre aprobadas para SQM área SOP.

Instalación	referencias	Medidas
Pozas de evaporación	Adenda I, RCA 226/2006 punto 2.4	Se dejará secar la piscina y la capa de geotextil será tapada con una capa de sal.
Planta SOP (SOP h y Dual)	RCA 154/2013 punto 3.1.4.3	Desmantelación y retiro estructuras y equipos.
Planta MOP-H II	RCA 154/2013 punto 3.1.4.3	Desmantelación y retiro de estructuras y equipos.
Planta de secado y compactado Sulfato de Potasio (SOP-SC)	RCA 154/2013 punto 3.1.4.3	Desmantelación y retiro de estructuras y equipos
Planta de secado y Compactado de Cloruro de Potasio (MOP G/ MOP G III)	RCA 154/2013 punto 3.1.4.3	Desmantelación y retiro de estructuras y equipos.
Planta de ácido Bórico (ABO)	RCA 154/2013 punto 3.1.4.3	Desmantelación y retiro de estructuras y equipos.
Instalaciones auxiliares	RCA 154/2013 punto 3.1.4.3	Desmantelación y retiro de estructuras y equipos

Fuente: SQM, 2014. Plan de Cierre faena Salar de Atacama.

Tabla 10: Medidas de cierre aprobadas para SQM área MOP.

Instalación	referencia	Medida
Pozas de evaporación	Adenda I, RCA 226/2006 2.4	Se dejará secar la piscina y la capa de geotextil será tapada con una capa de sal
Planta de Cloruro de Potasio KCl (MOP H I)	RCA 154/2013 punto 3.1.4.3	Desmantelación y retiro de estructuras y equipos
Planta de secado y Compactado de Cloruro de Potasio (MOP SC)	RCA 154/2013 punto 3.1.4.3	Desmantelación y retiro de estructuras y equipos
Planta de Secado de Cloruro de Potasio (MOP Estándar)	RCA 154/2013 punto 3.1.4.3	Desmantelación y retiro de estructuras y equipos
Plantas de Carnalita (PC1-PC2)	RCA 154/2013 punto 3.1.4.3	Desmantelación y retiro de estructuras y equipos
Instalaciones auxiliares	RCA 154/2013 punto 3.1.4.3	Desmantelación y retiro de estructuras y equipos

Fuente: SQM, 2014. Plan de Cierre faena Salar de Atacama.

III.6 Actividades de cierre Salar de Maricunga

Los proyectos analizados en este capítulo corresponden a proyectos que se encuentran en tramitación de su EIA mencionados en la tabla 6 y estos no cuentan con el documento de Plan de Cierre.

III.6.1 Caso minero Salar Blanco

Este proyecto se encuentra en tramitación del EIA y se emplaza en el Salar de Maricunga, en su fase de cierre indica la desmantelación de sus instalaciones industriales, pozos de extracción. Para las piscinas de evaporación se dejarán sin realizar cambios, dejando una capa de sal producto de la evaporación de la salmuera. Para las tortas de halita se considera la estabilización de taludes.

Tabla 11: Medidas de cierre Minera Salar Blanco.

Instalación	Referencia	Medida
Pozos de extracción	EIA “proyecto Blanco” punto 1.8.1	Desmantelación para pozos de extracción de salmuera, los pozos de extracción de agua no serán desmantelados
Piscinas de evaporación	EIA “proyecto Blanco” punto 1.8.1	Estabilización de taludes.
Sales de acopio	EIA “proyecto Blanco” punto 1.8.1	Estabilización de taludes, construcción de canales que capten las aguas de contactos generadas por drenaje salino y enviadas a piscinas de emergencia. Su ubicación está afuera del núcleo del Salar de Maricunga.
Instalaciones industriales	EIA “proyecto Blanco” punto 1.8.1	Desmantelación completa a excepción de tuberías bajo tierra sin residuos peligrosos.

Fuente: EIA “Proyecto Blanco”, 2018.

III.6.2 Caso SIMCO

Al igual que el proyecto Salar Blanco, el proyecto de “Producción de Sales de Maricunga” se encuentra en tramitación del EIA y se emplaza en el mismo sector que el proyecto Salar Blanco, para la fase de cierre se contempla la desmantelación de pozos de extracción e instalaciones industriales a excepción de sus piscinas de evaporación y contiene etapa de post cierre de estabilización de taludes para acopios de descarte y pozas de evaporación, y la reinyección de salmuera fresca para la estabilizar la altura de aguas subterráneas.

Tabla 12: Medidas de cierre SIMCO.

Instalación	Referencia	Medida
Pozos de extracción de salmuera y pozos de reinyección de salmueras.	EIA “producción de Sales Maricunga” punto 1.7.3.1	Deshabilitación de pozos de extracción y reinyección de salmueras (terminada la etapa Post cierre).
Piscinas de evaporación solar	EIA “producción de sales Maricunga” punto	Desmantelación de estaciones de bombeo y piping (tuberías).
Planta LiOH, KCl y Li ₂ CO ₃	EIA “producción de Sales Maricunga” punto 1.7.3.1	Desmantelación completa.
Sales de Acopio	EIA “producción de Sales Maricunga” punto 1.7.3.1	Ángulos de taludes no superior a los 30°

Fuente: EIA “Producción de Sales de Maricunga”

Las medidas de cierre en minería de salares tienen la misma iniciativa correspondiente al desmantelamiento de pozos de extracción e instalaciones industriales, estabilización de pozas de evaporación y tortas de halita.

De los planes de cierre aprobados, se cuenta con las actividades de cierre que regula el SERNAGEOMIN para estas faenas.

Tabla 13: Obras y medidas de cierre planta Salar, Albemarle.

Actividades de cierre	Pozos de extracción	Pozas de evaporación concentración	Planta de lixiviación carnalita	Planta de potasa	Planta de secado	Planta de lixiviación 01 y 02	servicios	general
Desmantelamiento	x	X	x	x	x	x	x	x
Demolición	x	X	x	x	x	x	x	x
Desmontaje de equipos	x	X	x	x	x	x	x	x
Desmontaje de cañerías de acero e industriales	x	X	x	x	x	x	x	x
Desmontaje de cañerías general	x	X	x	x	x	x	x	x
Retiro	x	X	x	x	x	x	x	x
Retiro línea eléctrica	x	X	x	x	x	x	x	x
Retiro equipamiento eléctrico	x	X	x	x	x	x	x	x
Retiro postes eléctricos	x	X	x	x	x	x	x	x
Excavación, Relleno y/o emparejamiento	x	X	x	x	x	x	x	x
Retiro elementos eléctricos	x	X	x	x	x	x	x	x
Retiro cables y canalizaciones eléctricos	x	X	x	x	x		x	x

Fuente: Resolución exenta 0631 que aprueba el plan de cierre de Albemarle.

Las medidas de cierre de Albemarle comprometen a desmantelar de sus instalaciones industriales, pozos de extracción y piscinas de evaporación, también se consideran restitución de topografía a través de rellenos y desmantelamiento de equipamiento y tendido eléctrico, y desmantelación de tuberías.

III.7 Instalaciones remanentes

III.7.1 Estabilidad Física

El control de la Estabilidad Física tiene como propósito mejorar la resistencia y disminución de las fuerzas desestabilizadoras que pueden afectar obras o depósitos de una faena minera. Al realizar desmantelamiento de instalaciones industriales y pozos de extracción, se elimina el riesgo de falla y se asegura la estabilidad. Los riesgos corresponden a las instalaciones remanentes que se dejarán en el lugar, tales como las tortas de acopio y las piscinas de evaporación solar.

III.7.2 Estabilidad Química

El control de la estabilidad química tiene como propósito evitar los efectos sobre las componentes agua, aire y suelo debido a las características químicas que presenten las instalaciones de la faena minera, con el objetivo de evitar, prevenir o eliminar reacciones que causen acidez o salinidad afectando a recursos hídricos.

De las instalaciones remanentes, las tortas de acopio se componen de sales precipitadas de la misma salmuera que compone el salar. En el proceso de evaporación no se agregan aditivos exógenos por lo que son los mismos componentes salinos del salar. La ubicación de los acopios es estratégica; debido a que están emplazados sobre una costra salina permeable en el núcleo del salar que, donde en el subsuelo subyace la salmuera, debido a lo cual los drenajes que pudieran generar las tortas de halita son del tipo salino dando solución una salmuera.

III.7.3 Piscinas de evaporación

Las piscinas de evaporación cuentan con capas impermeables rodeadas por un dique y son utilizadas para evaporar la salmuera. La estabilidad física está relacionada con fallas de los taludes, por lo que será relevante verificar al cierre el ángulo de talud que permita obtener un factor de seguridad óptimo para minimizar los riesgos de caídas o derrumbes que afecten a personas.

Debido a eventos climáticos, cuando se produzcan lluvias esporádicas, se acumulará agua y disolverá las sales contenidas en las piscinas, dando así una solución de aguas con contenido de sales.

Otro riesgo, es la generación de los espejos de aguas que forman las pozas, que pueden atraer diferentes tipos de aves, incluyendo depredadores de las aves protegidas por ley, aunque este efecto no está comprobado.

La capa impermeable que se utiliza, impide que la salmuera infiltre ya que hace perder su permeabilidad de la costra salina. Por esta razón, la mejor medida es retirarla al final de la vida útil, tal como lo propone Albemarle en la tabla 7. Que además, considera la remoción de diques para restituir la topografía existente. Sin embargo, esta actividad aumentará los costos de la etapa de cierre, debido a las grandes dimensiones de estas piscinas en el salar, pero se elimina el impacto visual que afecten al turismo y se minimiza los efectos sobre la fauna por el efecto espejo que generan la salmuera en las pozas.

III.7.4 Sales de acopio o tortas de acopio de sales

Las tortas de acopio se componen de sales precipitadas provenientes de las piscinas de evaporación y se dividen por tipo de sales como: halita, silvinita, bischofita y carnalita de potasio. La estabilidad física deberá ser similar a las de piscinas de evaporación, utilizando la técnica de estabilización de taludes para lograr un ángulo de talud favorable que minimice los riesgos de falla.

Los acopios de sales identificados como una instalación remanente, se dejarán tal como están en el núcleo del salar después de la etapa de cierre. A diferencia de las instalaciones remanentes de la minería de rocas a las sales de acopio, no se le consideran como residuos mineros masivos, sino, como residuos sólidos industriales inertes, ya que según el SESMA, son residuos que no presentan efectos al medio ambiente debido a las propiedades de las sales contenidas.

Este tipo de botadero no cuenta con impermeabilización, sino que se sólo se construyen los caminos de acceso para los camiones que transportan las sales. Este tipo de botaderos tiene la ventaja (como lo realiza SQM) de recarga del núcleo mediante infiltración de salmuera “no usada” impregnada en estas sales. El líquido infiltrado no introduce ningún componente exógeno a la salmuera propia del salar y se considera un efecto ambiental positivo según se establece la RCA. Este método es similar a la etapa de evaporación solar que se realiza en

las piscinas, sólo que de forma inversa, en vez de precipitar sales, estas se disuelven.

Según la Guía Metodológica Química de Faenas e Instalaciones Mineras, emitida por SERNAGEOMIN para evaluar el drenaje minero que provocan los botaderos, el drenaje de las tortas de acopio es salino y se considera que sus drenajes contienen niveles de sulfato en rangos de pH neutro, sin una carga significativa de metales en solución, siendo los principales elementos el sulfato, magnesio, calcio y cloruros.

Respecto de las reinyecciones indirectas realizado (por SQM) en las sales de acopios por lixiviación de salmueras residuales, se estima que los riesgos asociados a estas y la estabilidad química es de bajo riesgo para el medio ambiente y la salud de las personas (debido a las cualidades de las sales), ya que, estas provienen de las salmueras y estas sales son solubles en agua, provocando un drenaje minero salino dando como resultado una salmuera que será adsorbida por el salar provocando un proceso reversible proporcionándole al salar una reinyección indirecta de salmuera.

Los acopios no son tóxicos para el medio ambiente si están situados sobre el núcleo del salar que debajo de su costra salina contiene salmuera, lo cual no interfiere con su composición química, ni en su suelo (costra salina) por poseer características similares con mezclas de arcilla y cloruro de sodio.

La halita corresponde a cloruro de sodio que generalmente se utiliza para cocina y caminos escarchados como anticongelante, la silvinita se utiliza como materia prima para fertilizantes, la carnalita de potasio es enviada a planta de carnalita para su tratamiento para obtener cloruro de potasio y por último, la Bischofita se utiliza para la supresión de polvos en caminos. Por esto se considera que los acopios de residuos industriales sólidos son inocuos e inertes, ya que no dañan al medio ambiente y se ha descartado la clasificación como residuo masivo minero.

Tabla 14: Evaluación de riesgos para tortas de acopio.

Instalación Minera	Codificación		Riesgos	Receptores	Nivel
Depósitos de Estériles (DE)	DE1	DE1.P	Afectación de la calidad de agua subterránea a causa de infiltración por lluvia	Personas	BAJO
		DE1.MA		Medioambiente	BAJO
	DE2	DE2.P	Afectación de la calidad de agua subterránea a causa de infiltración por crecida	Personas	BAJO
		DE2.MA		Medioambiente	BAJO
	DE3	DE3.P	Afectación de la calidad de agua superficial a causa de lluvia	Personas	BAJO
		DE3.MA		Medioambiente	BAJO
	DE4	DE4.P	Afectación de la calidad de agua superficial a causa de crecida	Personas	BAJO
		DE4.MA		Medioambiente	BAJO
	DE5	DE5.P	Deslizamiento por erosión hídrica a causa de lluvia, deshielo o crecida	Personas	BAJO
		DE5.MA		Medioambiente	BAJO
	DE6	DE6.P	Por deslizamiento a causa de un sismo	Personas	BAJO
		DE6.MA		Medioambiente	BAJO

Fuente: Elaboración propia a través de guía metodológica de evaluación de riesgos y documentos asociados a la faena minera desde el Salar de Atacama.

Según la evaluación de riesgos elaborada para las tortas de acopios:

El primer riesgo DE1 “afectación de la calidad de agua subterránea a causa de infiltración por lluvia” tiene un nivel de riesgo bajo gracias a la ubicación estratégica de los acopios el núcleo del salar. Bajo la costra salina se encuentra la salmuera con alta concentración de sales similares a las del botadero, por ende, la disolución de las sales afectará positivamente a la salmuera.

El segundo riesgo DE2 “afectación de la calidad de agua subterránea a causa de infiltración por crecida”, el tercer riesgo DE3 “afectación de la calidad de agua superficial a causa de lluvia” y cuarto riesgo DE4 “afectación de la calidad de agua superficial a causa de crecida” obtienen un nivel bajo. En el núcleo no ocurrirán crecidas debido a su alta permeabilidad de la costra salina y alta tasa de evaporación, por lo que cierta parte será absorbida por el salar y el resto será evaporado.

Estos riesgos de bajo nivel corresponden a la ubicación en el interior del núcleo de estas tortas de sales. Si es otra la ubicación ajena al núcleo, se debe

de considerar medidas similares a botaderos de minería convencional, ya que el drenaje salino es capaz de afectar el pH de los acuíferos de agua dulce.

El quinto riesgo DE5 “deslizamiento por erosión hídrica a causa de lluvia, deshielo o crecida” obtiene un nivel de riesgo bajo; debido a que las características higroscópicas de las sales de acopio y sumado a un contenido de humedad de alrededor del 3%, permite la creación de una pila estable, la cual está compuesta por una costra salina. Además, se realizan ensayos de infiltración de porchet documentados por Albemarle, que considera a los botaderos permeables.

El último riesgo DE6 “por deslizamiento a causa de un sismo” obtiene un nivel bajo debido a que la gran extensión superficial de los acopios permite reducir su altura, aumentando el componente horizontal, lo que permite construir acopios extensos, seguros y de baja altura.

Según el análisis de la evaluación de riesgos de las sales de acopio se justifica la no realización de la etapa de post cierre ni monitoreo para controlar la estabilidad química gracias a la reversibilidad asociada al ciclo del agua y la disolución de sales, estos compuestos pueden volver a ser ingresados al salar de forma natural por lluvia o artificial al ser lixiviado con salmuera o agua.

Para la estabilización física, se debe considerar un seguimiento y monitoreo con tal de evaluar en forma periódica los ángulos de talud debido a las actividades sísmicas y lluvias torrenciales, y así asegurar la estabilidad ante eventuales riesgos de caídas y realizar correcciones con maquinaria en caso de un ángulo que afecte el factor de seguridad.

III.8 Aspectos Ambientales en la etapa de cierre

Al término de las operaciones ya no se extraerá salmuera, por lo que no habrá impactos ambientales mencionados en la Ley 19.300 en el artículo 11, letra b y d, que afecten a recursos hídricos y áreas protegidas.

Las piscinas de evaporación solar podrán tener algún efecto si se decide dejar impermeabilizado el sector en el que se emplaza y que debido a fenómenos naturales (lluvia) se pudiera generar un efecto espejo de aguas por la presencia

de salmuera en las piscinas, que puede atraer aves que pueden ser depredadores de la fauna protegida.

Las sales de acopio generarán impacto visual, pero con el pasar del tiempo estas serán disueltas con aguas de lluvias generando drenaje salino que será absorbido por el salar y una topografía más alta.

III.9 Actividades Post Cierre en el Salar Atacama

En la etapa de operación esta minería interviene de dos formas al entorno en que se emplaza, la primera es por las infraestructuras del proceso de producción que se ubican sobre la superficie del núcleo o costra salina. Segundo por la extracción de salmueras modificando el comportamiento hidrodinámico del salar.

Debido a las características de esta minería, su geología y su proceso de producción, las medidas de post cierre se clasificarán en dos secciones:

- a) Por topografía: incluye a las instalaciones remanentes.
- b) Por hidrodinámica: todo lo relacionado con salmuera y aguas para mantener un balance hídrico.

Para los proyectos ubicados en el Salar de Atacama, sus monitoreo y seguimientos son los siguientes y se analizarán por compañía.

III.9.1 Caso Albemarle

No proponen medidas de post cierre que aseguren la estabilidad física y química para sus instalaciones remanentes (tortas de sales de descarte) que ocupan el entorno, como lo indica en su Plan de Cierre en el punto 10.2.2. Las medidas de Post Cierre propuestas consisten en monitoreo y seguimiento (RCA 21/2016, punto 7) para verificar la efectividad de las medidas de cierre como cese de extracción de salmuera y tiene una duración de 5 años desde terminada la fase de cierre. Las medidas son medir la profundidad de los niveles freáticos M.S.N.M. de agua dulce-salobre y salmueras y la última que consiste en medir la posición de interfase salina mediante conductividad eléctrica vs profundidad. Según este seguimiento y monitoreo se espera que el salar a largo plazo repare naturalmente al dejar de intervenir con las descargas antrópicas sin realizar un seguimiento de las instalaciones remanentes en caso de desestabilidad de taludes.

III.9.2 Caso SQM

No propone medidas de post cierre, para verificar la estabilidad física y química autorizadas por las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) asociadas a actividades de monitoreo y verificación de emisiones y efluentes ni el seguimiento y control en el núcleo ni instalaciones remanentes que deja, como se indica en su Plan de Cierre en los puntos 9 y 10.

Las medidas de monitoreo y seguimiento consisten en el plan de seguimiento para variables ambientales por 5 años terminada la fase de cierre. Dicho monitoreo es denominado “Hábitat y Poblaciones de Avifauna del Salar de Atacama” y es para detectar variables como superficie inundada, profundidad lacustre, abundancia de aves y oferta alimentaria para flamencos.

Para el termino de sus faenas, SQM se compromete a realizar un monitoreo y seguimiento de acuíferos, flora y fauna que rodean del salar solamente.

III.9.3 Análisis

La etapa de post cierre se introdujo con Ley 20.551 con el propósito de verificar en el tiempo si las medidas para asegurar la estabilidad física y química del lugar fueron eficaces. Además, están orientadas para verificar que las medidas ejecutadas durante la etapa de cierre fueron eficaces permitiendo cuantificar y evaluar el grado de recuperación ambiental de la áreas intervenidas a través de seguimiento y monitoreo y con ello establecer o ejecutar las medidas de acción necesarias, a fin de que estos sean superados de la mejor manera, causando el menor daño posible al medio ambiente circundante. Para los dos casos, no existe garantía financiera para la etapa de post cierre, tanto para las instalaciones remanentes ni para monitoreo hidrodinámico.

Los seguimiento y monitoreo de estas empresas se enfocan en los recursos hídricos por el efecto negativo que genera la extracción de salmuera que para el caso de Albemarle es de dar a conocer el comportamiento del núcleo del salar y para SQM el comportamiento de los componentes ambientales como flora, fauna y recursos hídricos que rodean el núcleo, pero no se realizan medidas de post cierre de topografía para las instalaciones remanentes para asegurar la estabilidad física en caso de actividad sísmica, pensando que al término de la

vida útil el Salar de Atacama será visitado por el turismo, por lo cual ingresarán personas y provocar algún incidente producto de caídas de material o derrumbe.

La recomendación es que los titulares realicen una revisión de cada una de sus Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), identifiquen las medidas que no cumplen con el objetivo principal de la Ley 20.551, y establezcan una estrategia con la autoridad para modificar dichas medidas y aplicarlas en la siguiente actualización del Plan de Cierre.

La idea es que las empresas se asesoren para empezar a cambiar algunos compromisos asumidos en las RCA que no son relevante para la seguridad y la complejidad de los salares. El cierre de una instalación debe hacerse procurando resguardar la salud de la población y el medio ambiente que es lo que apunta esta reglamentación.

III.10 Actividades Post cierre Salar de Maricunga

Al igual que en el capítulo anterior se analizarán las etapas de post cierre propuestas por las compañías que se encuentran sus EIA en trámites para explotar en el Salar de Maricunga. Estas compañías aún no cuentan con un Plan de Cierre, por lo que se analizará sus medidas de cierre que se encuentran en la descripción de su fase de cierre de su EIA.

III.10.1 Caso SIMCO

Las medidas de Post cierre de topografía corresponden a la estabilidad de taludes para las instalaciones remanentes dejadas en el lugar como los acopios de sales de descarte y piscinas de evaporación solar para asegurar la estabilidad física midiendo los taludes a través de topografía. El periodo de post cierre tiene una duración de 5 años y realizando actividades con maquinaria en caso de que los taludes estén por debajo del ángulo deseado.

Con respecto a la estabilidad química, los acopios generarán drenaje salino que será absorbido por el mismo salar, se realizará un control de erosión eólica en acopios de sales con la finalidad de controlar las emisiones por arrastre de material debido a la erosión eólica manteniendo húmedo el acopio.

Otra medida que indica la empresa es la reinyección de salmuera fresca por 7 años terminada la fase de cierre, para evitar la afectación de las componentes de hidrogeología, flora y vegetación, fauna y ecosistemas

acuáticos continentales del sector nor-oriental del Salar de Maricunga. Tiene por objetivo evitar la disminución del nivel de agua salobre subterránea en la zona en la cual se desarrolla vegetación que podrían verse afectados si el nivel piezométrico desciende en más de 0,25 m según el modelo hidrogeológico propuesto.

III.10.2 Caso Proyecto Salar Blanco

Las medidas de post cierre, consisten en verificar la estabilidad física de los acopios de sales y pozas de evaporación monitoreando observación de grietas y derrumbes que se puedan provocar por clima del entorno, además de controlar la generación de emisiones significativas de material particulado del ambiente por la erosión eólica.

Se indican medidas para controlar la liberación de drenajes salinos para evitar la afectación de flora, fauna e hidrología, ya que las sales de acopio se ubicarán fuera del núcleo del salar.

III.10.3 Análisis etapa de Post Cierre

El proyecto producción de sales de Maricunga, se compromete a realizar una reinyección de salmuera fresca hacia el salar tanto en operación como en cierre y post cierre (7 años) para evitar daños a la vegetación debido a que en el sector donde se reinyecta, tiende a disminuir la altura de las aguas salobres por un proceso de inercia hidráulica del acuífero que provocará un re-equilibrio de los niveles estáticos en las inmediaciones del sector que dará como descenso de niveles freáticos afectando a la vegetación del sector, esta medida de reinyección es para mitigar este efecto perjudicial a la flora aunque sea una redistribución de recursos hídricos de la misma cuenca, donde se extrae y se reinyecta la salmuera de la misma cuenca pero en distintos puntos.

Además SIMCO, realizará monitoreo y seguimiento para verificar que se mantiene un ángulo de talud óptimo para evitar riesgos de falla y asegurar la estabilidad física de las instalaciones remanentes.

La Minera Salar Blanco, propone monitoreo y seguimiento para verificar la eficacia de que el drenaje salino de los botaderos afecten a recursos hídricos, ya que las tortas de halita se emplazarán fuera del núcleo del Salar de Maricunga.

En términos generales, las descripciones de la fase de cierre de estas compañías, comienzan a realizar compromisos para la etapa de post cierre verificando la estabilidad de los taludes y seguimiento de nivel de altura de los acuíferos teniendo en cuenta que la mayor preocupación de la extracción de salmueras es evitar una reducción de acuíferos o el secado de estos, por ende es de vital importancia realizar un seguimiento y acción para evitar estas consecuencias.

III.11 Normativas de cierre y Minería del Litio

Ya comentado las medidas y compromisos de cierre de los proyectos anteriores de explotación de salmuera. En este capítulo demostraremos cómo aplican los artículos de la Ley 20.551 a los Planes de Cierre a la minería desde salares.

III.11.1 Ley 20.551 Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras

Esta ley obliga a que todas las faenas mineras cuenten con un Plan de Cierre aprobado por el servicio, previo al inicio de las operaciones mineras y que debe contener la totalidad de las instalaciones de la faena. Estas instalaciones deben estar en conformidad con las RCA que se pronuncien favorable sobre el proyecto cuando corresponda, de acuerdo a la ley 19.300.

Los Planes de Cierre corresponden a las compañías de Albemarle y SQM que explotan del Salar de Atacama que serán analizados en este capítulo. Según la ley 20.551 que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras, se analizarán los artículos más relevantes relacionados con la minería del litio desde salares.

Tabla 15: Normativa de cierre aplicable de la Ley que regula el cierre de faenas e infraestructuras a la minería del Litio.

Artículo	objetivo	¿Aplica?	Medida PDC
3, o	Post cierre: etapa que sigue la ejecución del plan de cierre que comprende monitoreo y verificación de emisiones y efluentes, para garantizar en el tiempo la estabilidad física y química del lugar.	No aplica	No considera etapa post cierre ni fondos para esta etapa, en la RCA 21/2016 que se aprobó posterior al Plan de Cierre se compromete a realizar monitoreo de análisis químico y altura del nivel de profundidad de la salmuera, y cuña salina por un periodo de 5 años terminada la etapa de cierre y sin actividades para la etapa de postcierre a sus instalaciones remanentes.
3, q	Establecer vida útil a través de las reservas y niveles anuales de extracción	No aplica	Debido a la concesión del litio no resulta aplicable esta exigencia debido a que la cuota de extracción la regula la CCHEN, la vida útil de este proyecto no fue asociado

			a las reservas, si no que a través de un acto administrativo con un límite a extraer del metal.
3, j	Garantía: las obligaciones que se contraen e instrumentos que se otorgan para asegurar el cumplimiento de las cargas que derivan del plan de cierre, de acuerdo a los establecido en la ley	aplica	Si aplica la garantía en un periodo de 30 años de vida útil será cancelada, pero la determinación de la vida útil no se determina como la dicta la ley 20.551.
6	Permiso a la aprobación al documento plan de cierre	aplica	Requiere de actualizar el documento debido a RCAs posteriores.
10	Tipos de procedimiento de aprobación, procedimiento de aplicación general o simplificada. Siendo para la primera cuyo fin sea la extracción de mineral sobre a 10.000 toneladas de mineral mensuales de mineral y para la segunda una extracción menor.	No aplica.	Los Planes de Cierre fueron aprobados por el Procedimiento de Aplicación General bajo el Régimen Transitorio. No se consideró su capacidad de extracción para clasificar el tipo de procedimiento como un yacimiento minero.
13, d	Informe técnico realizado por una persona competente en reservas mineras de se pronuncie acerca de la vida útil del proyecto minero.	aplica.	La estimación de reservas está considerada para el total de la cuenca del Salar de Atacama. SQM tiene estimación de reservas, en cambio Albemarle está realizando estudios.
37, b	Realizar todas las inspecciones, exámenes, indagaciones o pruebas técnicas que sean consideradas necesarias para determinar la naturaleza y extensión de los riesgos, existentes o potenciales, sobre la faena a que se refiere el plan de cierre.	aplica	Si se realizan pruebas técnicas que consideren posibles riesgos terminada la vida útil del proyecto, pero no contempla una evaluación técnica de riesgos a instalaciones remanentes (acopios de descarte) para la estabilidad química y drenaje minero.
Artículo s transitorio, artículo segundo	La valorización de los planes de cierre aprobados por el SERNAGEOMIN en virtud del título X del reglamento de Seguridad Minera deberán efectuarse dentro de dos años	Si aplica	Si se aprueba y actualiza las garantías

Fuente: Elaboración propia a través de la Ley 20.551 y documentos de cierre.

III.11.2 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

Según el decreto 40 del reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental, se analizarán los artículos aplicados a la minería de litio desde salares.

Tabla 16: Normativa de cierre aplicable del Decreto 40 a la minería del Litio.

Artículo	Objetivo	¿Aplica?	Medida
136	Permiso para establecer sales de acopio	Si aplica	Si se consideran apilamiento de sales de descarte y estas se dejarán tal cual posterior a la etapa de cierre del proyecto
137	Permiso para la aprobación del plan de cierre de una faena minera que consisten en velar por la estabilidad física y química del lugar para resguardar la vida y salud de las personas y medio ambiente.	Si aplica	Si se consideran en las EIA y DIA que contemplan el área del salar.

Fuente: elaboración propia a través del Decreto 40 y documentos de cierre.

III.11.3 Reglamentos de ley de cierre de faenas

Según el decreto 41 del reglamento de ley de cierre de faenas se analizarán los artículos relevantes correspondientes a la minería del litio desde salares.

Tabla 17: Normativa de cierre aplicable del Decreto 41 a la minería del Litio.

Artículo	Objetivo	¿Aplica?	Medida
15 y 17	Determinar una evaluación de riesgos para asegurar estabilidad física y química luego del cese de las operaciones	aplica	Se considera para los acopios en etapa de operación asegurando la estabilidad física.

Fuente: Elaboración propia a través del Decreto 41 y documentos de cierre.

III.12 Planes de cierre

Con respecto a los planes de cierre, solo existen dos y están emplazados en el Salar de Atacama, siendo el primero el de SQM Salar, que fue aprobado el 27 de Mayo de 2015. En el documento no se presentan etapa de post cierre ni de análisis de riesgos para sus instalaciones remanentes.

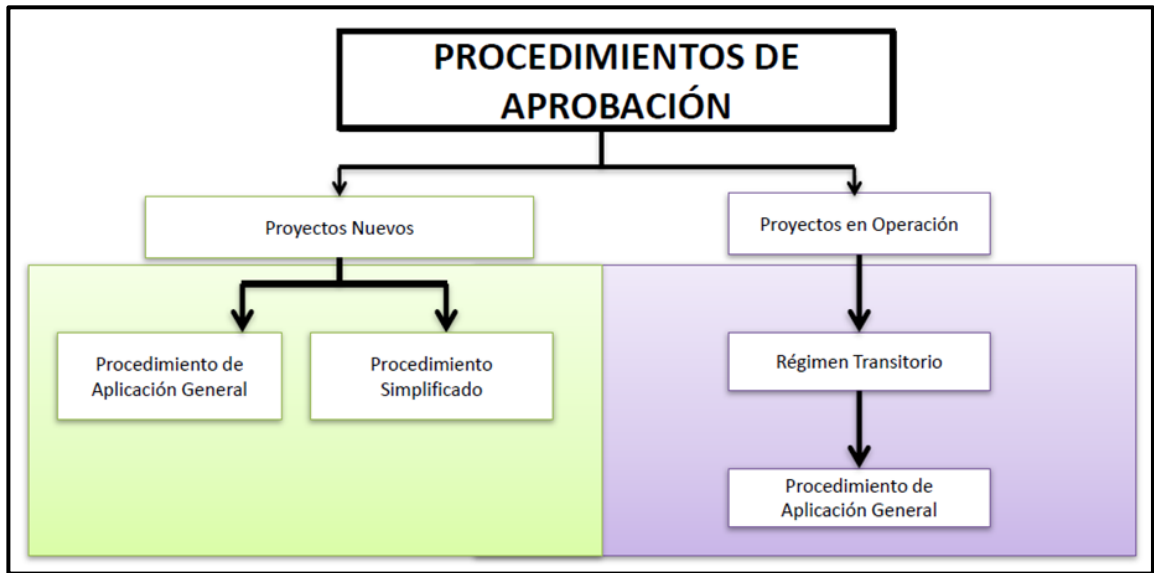
En el caso de Albemarle, se aprobó el plan de cierre el 29 de Marzo de 2016. Tuvo que realizar un reingreso, ya que el su primer ingreso fue rechazado por temas de garantías financieras. Este documento tampoco presenta etapas de post cierre, ni análisis de riesgos.

Existe cierta incertidumbre de porque no se realizan estas actividades de análisis, ni tampoco etapa de post cierre, siendo que esta minería se ubica en un entorno complejo y frágil debido a la interacción que tiene su proceso productivo con los recursos hídricos y las instalaciones remanentes que puede dejar.

Esto tiene una respuesta y es la siguiente: antes de que se promulgue la Ley 20.551, las empresas ya contaban con Planes de Cierre que estaban regulados por el Reglamento de Seguridad Minera conforme al Título X y aprobados por el SERNAGEOMIN.

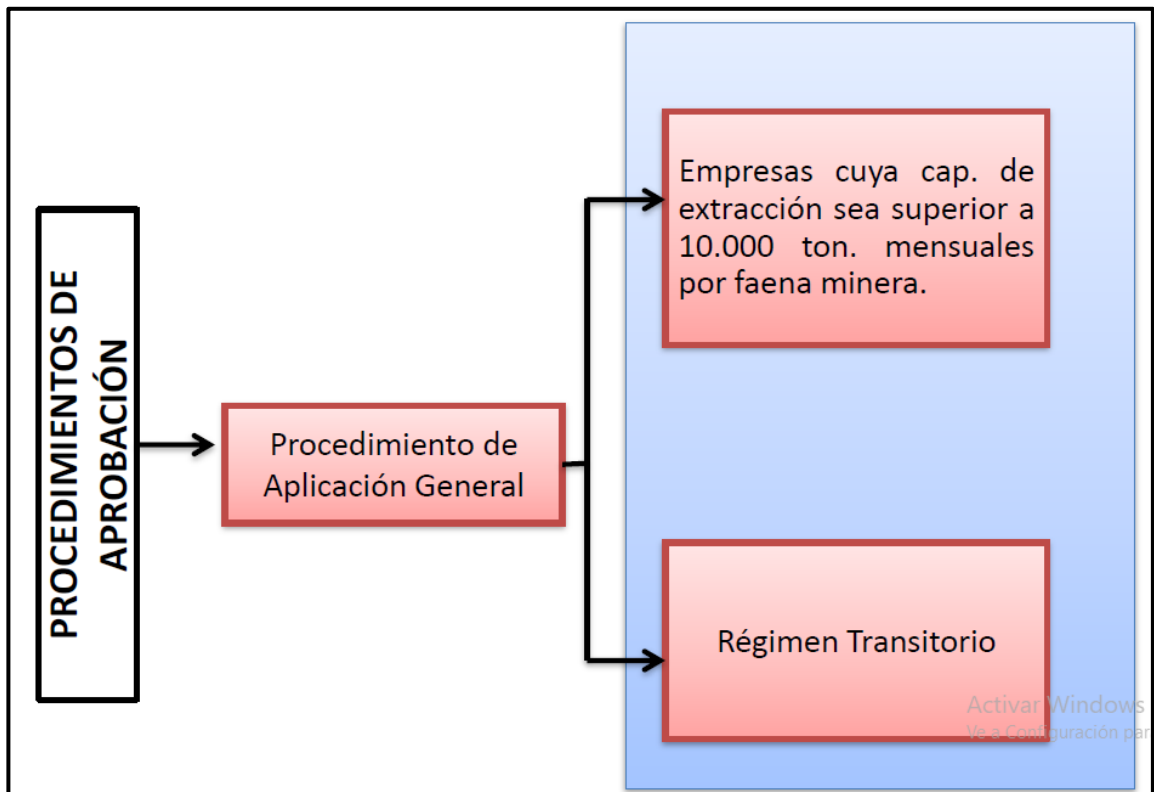
Ya promulgada la Ley 20.551, los titulares tienen la obligación de contar con un Plan de Cierre. Para la aprobación del Plan de Cierre, el documento entro bajo el Régimen Transitorio de la Ley, debido a que ya se encontraba en operación y contaba con un Plan de Cierre aprobado bajo el RSM 132.

Ilustración 6: Procedimientos de aprobación de Plan de Cierre.



Fuente: Seminario Ley 20.551, SERNAGEOMIN octubre 2012.

Ilustración 7: Procedimientos de aprobación por Procedimiento de Aplicación General.



Fuente: Seminario Ley 20.551, SERNAGEOMIN octubre 2012.

Bajo este Régimen, los Planes de Cierre se clasifican por el Procedimiento de Aplicación General, no tomando en cuenta la capacidad de extracción. La falta

de etapa de Post Cierre y de análisis de riesgos para instalaciones remanentes para asegurar la estabilidad física del entorno se debe a que los planes de cierre representan la valorización de las medidas de cierre implementados en el documento de Plan de Cierre regulado en ese entonces por el RSM 132 y no contaban con actividades de post cierre, análisis de riesgo y tampoco en sus RCAs anteriores al año 2015 y 2016 se indicaban las actividades y análisis, sólo por el hecho de entrar bajo el Régimen Transitorio de la Ley 20.551.

En conclusión, estas faenas (Albemarle y SQM) fueron sometidas al Procedimiento de Aplicación General del Régimen Transitorio y se realizó la valorización del plan de cierre aprobado por el SERNAGEOMIN en virtud del Título X del Reglamento de Seguridad Minera, con modificaciones por las RCAs posteriores indicando nuevas medidas en su fase de cierre hasta en ese entonces.

Entonces ¿qué protocolo se debe seguir para cubrir estas deficiencias? Lo más lógico sería de actualizar estos Planes de Cierre bajo el Régimen General para que se complemente con análisis de riesgos de las instalaciones y su debido etapa de Post Cierre, para cumplir con lo que propone la Ley en su próxima actualización obligatoria del documento y adicionando actividades de monitoreo y seguimiento del balance hídrico y salino como propone Albemarle en un RCA 21/2016 complementando medidas que asegure la estabilidad física para sus instalaciones remanentes evitando fenómenos de falla.

III.13 Dimensionamiento por capacidad de extracción

Según la normativa aplicable al Cierre de Faenas y el documento de Plan de Cierre, la minería del litio o de salares es considerada como una planta de procesamiento, ya que, la extracción de salmuera no se considera como mineral o no se menciona explícitamente, por ende, ¿es aplicable su clasificación como procedimiento de aplicación general o simplificado por dimensionamiento en base al caudal de extracción de salmuera? y ser evaluado como un yacimiento minero.

Para la clasificación del procedimiento sea Procedimiento de Aplicación General o Procedimiento Simplificado, se debe calcular la capacidad de

extracción de mineral siendo por sobre 10.000 toneladas mensuales para el primer caso y menor o igual para el segundo. Pero la interrogante es qué condición se le da a la salmuera ya que contiene agua y sales disueltas para ser denominado como mineral.

La definición de mineral es “sustancia inorgánica existente en la corteza terrestre que está formada por uno o varios elementos químicos con estructura cristalina y normalmente se presenta como sólido” y la salmuera simplemente es una solución de agua con contenido de sales (no se consideraría mineral debido a que se encuentra en estado líquido).

Cabe destacar, que a pesar de que la salmuera contiene agua, la autorización del caudal a extraer se dicta a través de la aprobación de la RCA y no de la DGA (Dirección General de Agua), entonces con esta conclusión, no se puede considerar la salmuera como agua, esta se regula como un mineral de cobre o hierro.

Por lo tanto, para clasificar esta faena como procedimiento de aplicación general o simplificado, la salmuera debe ser mencionada en el código de minería como un recurso natural o recurso minero y establecer un capítulo apartado para la minería de salares, como por ejemplo la de hidrocarburos, para establecer el plan de cierre como un yacimiento minero y su clasificación dentro de un procedimiento.

Existen salmueras artificiales y las naturales, en las artificiales se encuentran las de elaboración de alimentos, efluentes de plantas de tratamientos del agua, industria de curtido de pieles, tratamientos de agua para plantas de generación de energía y extracciones de gas y petróleo, entre otras. Estas salmueras artificiales son productos o residuos de estos procesos por lo tanto no se consideran sustancias minerales como se menciona en el código de minería en su artículo 13.

En cambio, las salmueras naturales que se forman en salares, como la misma extracción de salmuera para la minería del litio, se consideran sustancias minerales, debido a que se denominan como “producto minero” toda sustancia

mineral ya extraída, aunque no haya sido objeto de beneficio según el artículo 12 del código de minería.

Entonces para el caso de la salmuera proveniente de salares que se forma naturalmente por presencia de aguas se evaporaron y disolvieron minerales evaporíticos con el pasar de los años, la salmuera se considera una sustancia mineral dentro del código de minería y recurso natural. Según esta conclusión y para efectos de su clasificación, esta minería debería ser considerada dentro de los procedimientos de aplicación general y/o simplificada según la cantidad de mineral (salmuera) a extraer como se indica en el artículo 10 de la Ley 20.551.

Debido a la naturaleza en estado líquido de la salmuera, ¿debería la clasificación del procedimiento regirse por el Título III, párrafo 2° de la Ley 20.551 como un mineral sólido, en un capítulo apartado como las faenas de hidrocarburos que se menciona en el Título XII de la misma Ley, o ir al Procedimiento de Aplicación General directamente debido a que sus procesos de operación que están ligados a recursos hídricos? Este cuestionamiento, podría otorgar modificaciones para la Ley que Regula el Cierre de Faenas y al Código de Minería para determinar a la salmuera como una sustancia minera diferenciada como la de los hidrocarburos y además que estas contengan elementos de carácter estratégico como lo es el Litio.

De esta forma el SERNAGEOMIN podría regular a los nuevos proyectos mineros de salares bajo un Régimen General y que se cubran todos los requisitos que abarcan la Ley de Cierre y realizar un Plan de Cierre acorde a esta minería.

III.14 Determinación de la Vida útil

La vida útil de los proyectos se realiza para determinar las cuotas de las garantías financieras propuestas en el Plan de Cierre y según la Ley 20.551 en el artículo 3, letra q, la vida útil se determina en función de las reservas certificadas por una persona competente en recursos y reservas en relación con los niveles anuales de extracción de mineral.

La vida útil en la minería del litio está condicionada por actos administrativos por arrendamiento de concesión por el hecho de que el litio tiene carácter no concesible, entonces para determinar garantías financieras, el cálculo

de la vida útil por la razón de reservas y extracción anual no se puede establecer, ya que el resultado de la vida útil difiere mucho en base a estas dos determinaciones. Para analizar estos casos se realizará de un ejemplo.

Ejemplo: en un salar con reservas de litio de 1 millón de tonelada, una empresa extrae 100 l/s de salmuera (3.784.320 ton/año) con una concentración de 1% litio. Su extracción anual de litio sería de 3784,3 ton/año. Entonces su vida útil será 26,4 años por Ley. Pero debido a la no concesión de litio, el arriendo de concesión es de 10 años por acto administrativo.

Entonces, ¿de qué forma se puede establecer la determinación de la vida útil en el documento de plan de cierre? Se puede de las dos formas. Por Ley, se puede establecer por la razón de reservas y capacidad de extracción anual que puede ser válido, ya que, está indicado en la Ley y según eso establecer el monto de las garantías en 2/3 de su vida útil y cerrar sus faenas a los 10 años por acto administrativo otorgando incumplimientos y de otra forma, por acto administrativo, dando a conocer los contratos de vida útil condicionados por el arrendamiento y establecer garantías financieras para esta vida útil.

En el Salar de Atacama, en los documentos como RCAs, Plan de Cierre y contratos de arriendos de concesiones sus los años de vida útil son distintos.

Tabla 18: Vida útil de proyectos según tipo de documentos.

	Última RCA aprobada	Documento de plan de Cierre	Convenio de arriendo
Albemarle	2047 (0279/2017, punto 4.4.3)	2038	2043
SQM	2031 (154/2013, punto 3.1.3)	2031	2030

Fuente: Elaboración propia a través de RCA, Plan de Cierre y Contratos CORFO.

Para estos casos se debería crear un capítulo aparte con la determinación de vida útil para yacimientos con elementos no concesibles y que se exploten bajo arriendo de concesión para establecer un monto de garantía acordes a la vida útil por acto administrativo y cada vez que se modifique este contrato, deberá actualizar los nuevos resultados de la vida útil a través de un nuevo Plan de Cierre.

III.15 El problema del SEIA y la DGA

En general, los salares tienen tres componentes. Primero la parte superficial, que es la costa salina, que puede ser lisa o rugosa debido a su

higroscopia. Segundo, el componente salmuera, donde está el agua con contenido de sales y tienen una estrecha relación con acuíferos cercanos que normalmente estas son zona de máximo interés económico y susceptible a ser afectados ambientalmente. Tercero y último, existe la fracción plástica, como arena, limo, entre otros que están en la parte baja del salar.

Lo importante acá es que normalmente en los salares se realizan labores para beneficio de las salmueras, esto hace que estos sistemas sean particularmente complicados por la hidrodinámica que posee. Por lo tanto, los salares deben ser monitoreados constantemente y con responsabilidad.

Entonces, para extraer recursos de un acuífero independiente del tipo de industria, se altera la naturaleza provocando efectos no deseados que pasan cierto umbral que desencadenan problemas de difícil solución y que a su vez son muy costosos y perjudiciales para la sociedad que en este ámbito se traduce en la reducción de acuíferos y napas subterráneas.

Uno de los principales aspectos relevantes es el sitio donde se emplazan varios proyectos en una misma cuenca, como ejemplo en el Salar de Atacama existen cuatro RCAs (SQM, Albemarle, Escondida y Zaldivar) de mineras que extraen salmuera y agua, cada RCA conforma un solo modelo hidrogeológico distinto pero con un mismo objetivo, que es velar la seguridad de los mismos objetos de protección ambiental del entorno que los rodean, debido a la sinergia cada impacto ambiental generado por proyecto a la cuenca por cada industria, generan impactos acumulativos hacia a ella.

Tal como se mencionó anteriormente, los salares son ecosistemas frágiles y complejos por los recursos de agua y salmuera que lo conforman y también repetir que en el Salar de Atacama existe un desequilibrio hídrico producto de extracciones de los recursos del salar, entonces ¿Por qué se debe este gran efecto ambiental que se produce en la actualidad si existen organismos que regulan estos ámbitos? Y esto tiene una respuesta, es por la falta de sincronización de los organismos que autorizan los caudales de extracción de estos recursos.

La extracción de salmuera provoca disminución de niveles de altura de agua de los acuíferos cercanos al núcleo del salar y las extracciones de agua provocan disminución de niveles de salmuera en el núcleo del salar. Esto es debido a que los dos son líquidos que tienen el comportamiento de tomar la forma del recipiente que en este caso es la cuenca.

La cuota de extracción de salmuera se autoriza bajo la aprobación de la Resolución de Calificación Ambiental y el derecho de otorgamiento de aguas lo aprueba la DGA. Para otorgar los caudales de agua a ciertas personas (naturales o jurídicas) la DGA debe contener un modelo hidrogeológico donde se indique que la cuenca tenga excedente de recursos hídricos para otorgar derechos de agua sin afectar a las componentes ambientales del entorno y para otorgar caudales de extracción de salmuera a las empresas mineras, estas deben de realizar un modelo hidrogeológico a partir de sus líneas de base capaz de estimar que se tenga un excedente de recursos de salmuera con tal de obtener un caudal de extracción y a la vez se tenga un balance hídrico.

El problema de estos organismos es que no tenían una buena sincronización al otorgar caudales de extracción y se dieron de forma independiente, provocando impactos acumulativos que se resume ahora en un desequilibrio hídrico y poder dar origen a un cierre de faenas anticipado por restricción ambiental para las minerías que actúan en núcleo del Salar de Atacama y el cese de extracción de aguas.

Uno de los motivos por el cual se creó el Comité de Minería No Metálica fue para tener una buena sincronización de los organismos que regulan de la minería de salares y los derechos de aprovechamiento de aguas.

Para evitar los efectos ambientales como el secado del Salar Punta Negra debido a una sobreexplotación de recursos hídricos durante un prolongado tiempo, se debe realizar una explotación sustentable en el salar en todo momento para no tener consecuencias graves en el momento de cierre y realizar compensaciones, que en este ámbito sería reinyectar agua.

Para mitigar los impactos que se producen en la etapa de operación se deberían realizar modelos numéricos y PAT únicos para toda la cuenca cerrada,

llevando a cabo una línea de base en conjunto por las empresas que harán uso de salmueras y aguas para establecer un modelo conceptual que indique datos cualitativos y cuantitativos del funcionamiento del salar y su relación con los ecosistemas al momento del cese de operaciones, con tal de que se alcance un balance hídrico que en la actualidad está siendo sobreexplotado.

La sinergia de los proyectos en los salares es de un alto nivel, dado que pueden existir diversas RCA en una sola Cuenca provocando áreas de influencias sobrepuestas para hidrología e hidrogeología.

III.16 Importancia de una buena gestión de cuencas

Dada las características del salar, para ejercer minería al explotar un líquido, se debe tener especial cuidado porque donde hay agua, hay personas que realizan actividades económicas distintas de la minería que tienen que ser compatibilizadas adecuadamente.

Dentro de una cuenca se le otorgan concesiones acotadas y definidas a cada actor, por lo tanto al extraer recursos en una concesión, puede estar dañando los derechos de la otra concesión y esto es porque el líquido toma la forma del recipiente y su extracción independiente de la ubicación que sea impacta a la cuenca. Entonces la forma de extraer y la legislación asociada a concesiones actuales, no es la mejor opción para realizar proyectos en salares.

Como medidas de post cierre se indica el seguimiento de ciertos puntos para salmuera y agua. Para estos casos se puede dar que una empresa terminada su vida útil se comprometa con mantener un cierto nivel de altura de los recursos para la cuenca, pero al estar otro proyecto en operación va a interferir con lo prometido por la primera empresa. Ejemplo: Una compañía A se encuentra en su etapa de post cierre y la compañía B en operación.

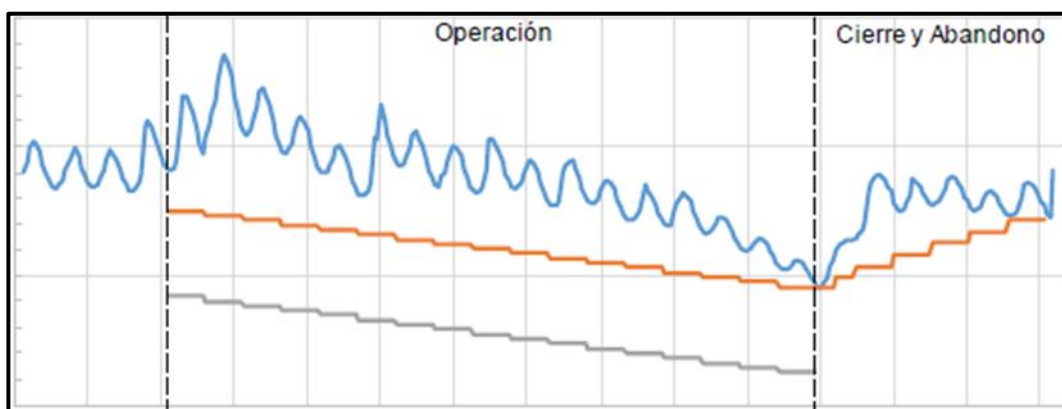
Un ejemplo claro sería si se llegasen a aprobar los proyectos en el Salar de Maricunga, como el proyecto de SIMCO (compañía A) esté en su etapa de post cierre y para el proyecto de minera Salar Blanco (Compañía B) se encuentre en operación.

La compañía A propone como medida de post cierre, una reinyección de salmueras frescas en un sector que determino que su descenso de nivel de agua

salobre es perjudicial para la vegetación, pero en ese mismo momento se encuentra en operación el proyecto la compañía B que va a interferir con su medida de post cierre por extraer salmuera dada las sinergias que produce los proyectos en la cuenca. Para la compañía A, tendrá que realizar más acciones para lograr su objetivo que es la de estabilizar el balance hídrico que propone a pesar de que la otra compañía que explote del salar interfiera en su medida de mitigación, además de ciertas faenas de cualquier industria que actúen en la cuenca.

Entonces para estos casos se esperaría una buena gestión vinculada a la efectividad de la mitigación, determinando umbrales y medidas de acción únicos para cada cuenca en forma individual como se indica en el gráfico 8, frente al comportamiento de los niveles del acuífero para estos tipos de caso donde la compañía A esperaría que los niveles de altura asciendan por recargas naturales y la compañía B descieran por la operación.

Gráfico 8: PAT para el seguimiento de comportamiento de una cuenca en etapa de operación y cierre.



Fuente: EIA "Proyecto producción Sales de Maricunga" (ilustración tomada como ejemplo del caso).

Lo anterior se dificulta al momento de establecer los PAT que está orientada a proteger sistemas sensibles y actividades de consumo de recursos hídricos. Es así que al momento de producirse un cierre de faenas de un proyecto (compañía A) y otro proyecto sigue en operación (Compañía B), los umbrales definidos en los PAT serán modificados debido a disminución de extracción de salmuera total de la cuenca. Es así como la compañía B debe adaptarse y no afectar los umbrales propuestos por la compañía A en su RCA para la etapa de

post cierre para mitigar los impactos ambientales producto de la inercia hidráulica del salar que provocó en su operación, con tal de predecir un aumento de nivel de altura del acuífero por recargas naturales de la cuenca, de tal forma la compañía B sería la culpable de generar una activación del PAT de la otra compañía, lo cual obligaría a compensar por su efecto a terceros (Compañía A). Por lo demás, queda demostrado que la evaluación de impacto ambiental y la normativa de cierre de faenas generarían serias complicaciones en el caso de que se produzca el cese de operaciones de una empresa y medidas de post cierre para el seguimiento de los niveles piezométricos de aguas y salmuera donde exista un proyecto de operación en la misma cuenca.

Para esto es necesario que el Estado tenga políticas claras y definidas respecto del manejo de cuencas. Por su parte, el Poder Legislativo debe promulgar leyes que estén acordes con los conceptos de manejo sustentable de los recursos y, que a su vez, puedan ser controladas y fiscalizadas por los organismos competentes para evitar el deterioro de cuencas. Todos los actores que extraen del salar deben tener clara conciencia de que sus acciones, tanto cotidianas como productivas producen la alteración del entorno con una gran área de influencia.

Para estos casos, sería interesante proponer a la etapa de post cierre la variable sinergia debido a que varios proyectos que operan o estuvieron operando en la misma cuenca como es el caso de minería de salares para evitar dificultades de monitoreo y seguimiento al ingresar un tercero a explotar del salar e interfiera con los compromisos de post cierre de la compañía A. Una solución puede ser el manejo integrado de cuencas, como lo establece la ley 19.300 en el artículo 7, una Evaluación Ambiental Estratégica.

Esta alternativa podría ser factible con tal mitigar los impactos ambientales a los acuíferos colindantes y ser mitigados en las etapas del proyecto minero como se mencionan anteriormente con el uso de PAT y modelos hidrogeológicos.

Como conclusión, se deberían ejercer PAT únicos para todas las RCAs que involucra la cuenca, tanto para la etapa de operación, cierre y post cierre con tal de velar por la salud y seguridad del medio ambiente, y tener información del

comportamiento de los salares y al momento de que una empresa realice su cierre de faenas se modifiquen los umbrales del PAT y estén acordes a la recarga y descarga del salar que indique el modelo hidrogeológico numérico que se está realizando el Comité de Minería No Metálica.

Según estos términos del párrafo anterior, estas condiciones obligarían a las empresas que extraen recursos de un salar en forma sustentable en la etapa de operación para determinar un balance hídrico de la cuenca y evitar un posible secado del salar que determinará un cierre de faenas anticipado para los actores debido a una restricción ambiental producto de un desequilibrio hídrico provocado en largo plazo y evitar acciones de compensación, ya que esta actividad de compensación, mitigación o reparación sería de extraer agua de un sector a otro, provocando un impacto en el lugar de extracción y compensando impactos en el lugar de reinyección, cuestión que sería ilógico de traspasar impactos ambientales.

Para estos aspectos, al realizar los Planes de Cierre para la minería del litio, las actividades realizadas en la superficie del salar como retiro de las instalaciones, se deben de evaluar como proyectos independientes y toda medida que involucre los componentes donde se sitúan los recursos de agua y salmuera para su monitoreo y seguimiento para una eventual actividad mitigación como la reinyección de salmuera fresca o similar, se deben de analizar en conjunto con la información de toda la cuenca, ya que la sinergia de los proyectos en las cuencas es alta.

III.17 Aspectos ambientales asociados al cese de operaciones

Al completarse el cierre de faenas mineras de litio, se espera que la superficie del salar este libre instalaciones ajenas a la naturaleza del salar dejando los botaderos de sales producto de sales residuales del proceso de operación.

Para el futuro de estas empresas se espera un plan de cierre total donde se desmantelarán todas sus instalaciones para una restitución de topografía a excepción de su instalación remanente. Cumpliendo con los objetivos de la Ley

20.551 asegurando la vida, salud y seguridad de las personas y el medio ambiente a través de la estabilidad física y química.

En el siguiente capítulo se estimará que ocurrirá después de la etapa de cierre de minería del litio.

III.17.1 Balance Hídrico después del cierre

Analizando documentos asociados a la hidrogeología del salar y aspectos ambientales con respecto a la extracción de salmuera y agua, es posible mencionar que se provoca un desbalance con el nivel de altura de los recursos y esto es ocasionado por la descarga que depende de la evaporación, evapotranspiración y, la extracción de agua y salmuera; sin embargo lo que proviene de la escorrentía y percolación es su recarga, en la actualidad la descarga es mayor, pero gracias al invierno altiplánico que ocurre ocasionalmente de 2 a 5 veces cada 15 años, los niveles piezómetros del núcleo aumentan gracias a esta precipitación de lluvia sobre la cuenca, por ende, en el plan de cierre de las compañías, se desmantelan todas las instalaciones ubicadas en el núcleo, dejando en el lugar las sales de acopios que son un derivado de la salmuera. Al desmantelar todo, no habrá interferencia con los recursos hídricos por parte de las mineras de litio y potasio, ya que ocurrirá el cese de la extracción de salmuera y gracias al ciclo hidrológico ocurrirá una disminución del desequilibrio hídrico.

En la Tabla 19, se muestra el balance hídrico en el acuífero del Salar de Atacama en los años 80.

Tabla 19: Balance hídrico en el acuífero en régimen natural.

Entradas	l/s	Salidas	l/s
Percolación	2.600 a 3.200	Evaporación en el salar	5.050 a 6.300
Escorrentía	3.500 a 4.300	Evapotranspiración en áreas con vegetación	1.000 a 1.250
		Extracciones Antrópicas salmuera	50
		Extracción neta de agua fresca	0
Total	6.100 a 7.500	Total	6.100 a 7.600

Fuente: CMNM, 2018. Modelo Hidrogeológico Conceptual del Salar de Atacama.

A mediados de los años 80 ya se encontraba en producción la Sociedad Chilena del Litio, lo que justifica las extracciones antrópicas y un balance con su recarga, descarga y la escasa intervención humana.

En la Tabla 20 se muestra el balance hídrico anualizado en los años 2000 a 2015.

Tabla 20: Balance hídrico en el acuífero en régimen en explotación.

Entradas	l/s	Salidas	l/s
Percolación	2.600 a 3.200	Evaporación en el salar	4.450 a 5.550
Escorrentía	3.500 a 4.300	Evapotranspiración en áreas con vegetación	1.000 a 1.250
		Extracciones Antrópicas salmuera	950 a 1.050
		Extracción neta de agua fresca	1.450 a 1600
Total	6.100 a 7.500	Total	7.850 a 9.450

Fuente: CMNM, 2018. Modelo Hidrogeológico Conceptual del Salar de Atacama.

En los años 2000 al 2015, se observa un aumento en las descargas del salar y se mantiene su recarga, por lo que el descenso del balance hídrico es provocado por extracciones de salmuera y de agua fresca de la cuenca.

En la siguiente tabla 21, se observa una estimación conceptual después del cierre de la minería del litio.

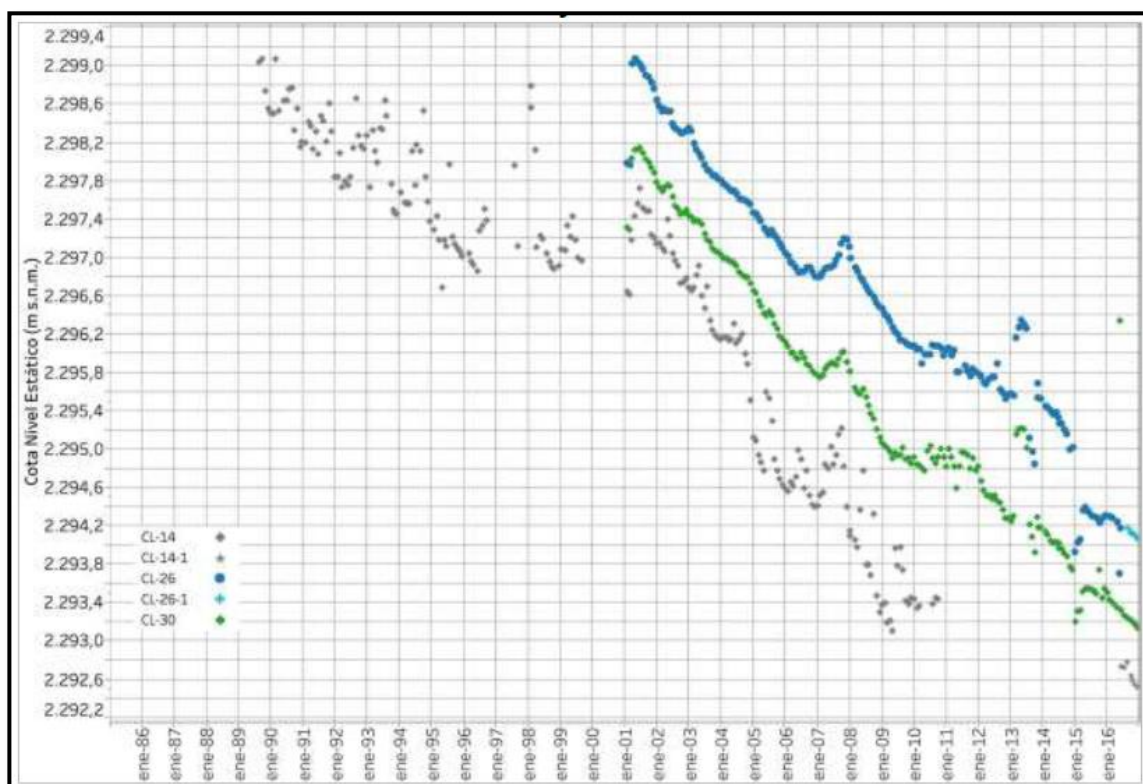
Tabla 21: Balance hídrico en el acuífero y cese de extracción de salmuera.

Entradas	l/s	Salidas	l/s
Percolación	2.600 a 3.200	Evaporación en el salar	4.450 a 5.550
Escorrentía	3.500 a 4.300	Evapotranspiración en áreas con vegetación	1.000 a 1.250
		Extracciones Antrópicas salmuera	0
		Extracción neta de agua fresca	1.450 a 1600
Total	6.100 a 7.500	Total	6.900 a 8.250

Fuente: Elaboración propia con base en el modelo hidrogeológico conceptual del Salar de Atacama excluyendo la extracción de salmuera.

La diferencia en el balance hídrico se estima que será de 750 a 800 l/s de déficit al cese de las operaciones de la extracción de salmuera y, manteniendo las extracciones de agua fresca, manteniéndose el desequilibrio hídrico por las extracciones de agua, pero con menor diferencia.

Gráfico 9: Evolución de niveles en el núcleo del salar, 1986 – 2016, Área Salar.



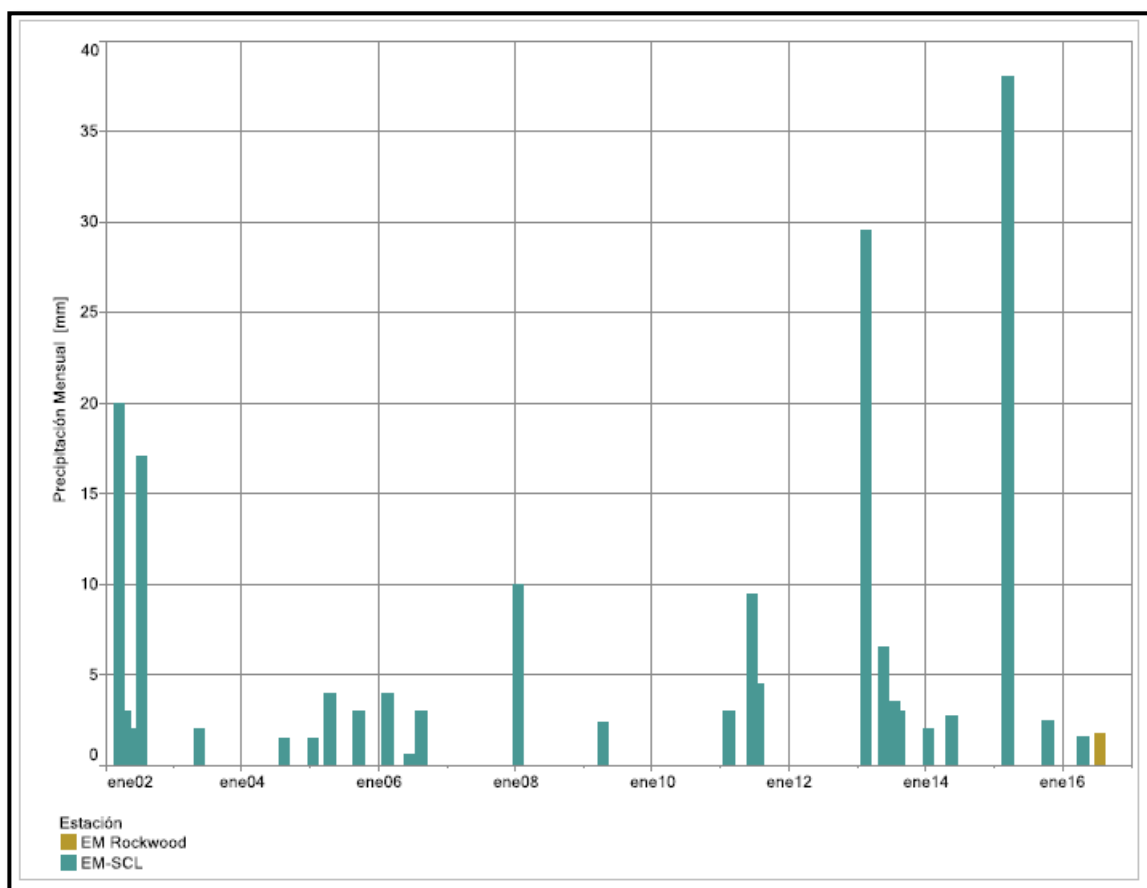
Fuente: Plan Seguimiento Ambiental Hidrogeológico, Albemarle, 2017.

En etapa de operación, los niveles de altura de salmuera tienden a ir descendiendo constantemente debido a su extracción y ascienden ocasionalmente por precipitaciones que recargan el núcleo, donde el siguiente grafico 10 tiene una relación con las recargas al mismo.

En el año 2013 ocurrió una precipitación de 30 mm lo que benefició el balance hídrico aumentando el nivel de la salmuera en 0,8 metros, al igual que en el año 2015 con una precipitación de 35 mm que aumento la altura de la salmuera en 0,4 metros.

Los niveles de altura del año 2001 versus el año 2016, evidencian el descenso ocasionado por la extracción de salmuera demostrado en el gráfico 5 y se representan con mayor pendiente del año 2012 en adelante, ya que el caudal de extracción de salmuera aumentó, al igual que el agua fresca.

Gráfico 10: Precipitación Mensual histórica, 2002 - 2016. Área Salar.

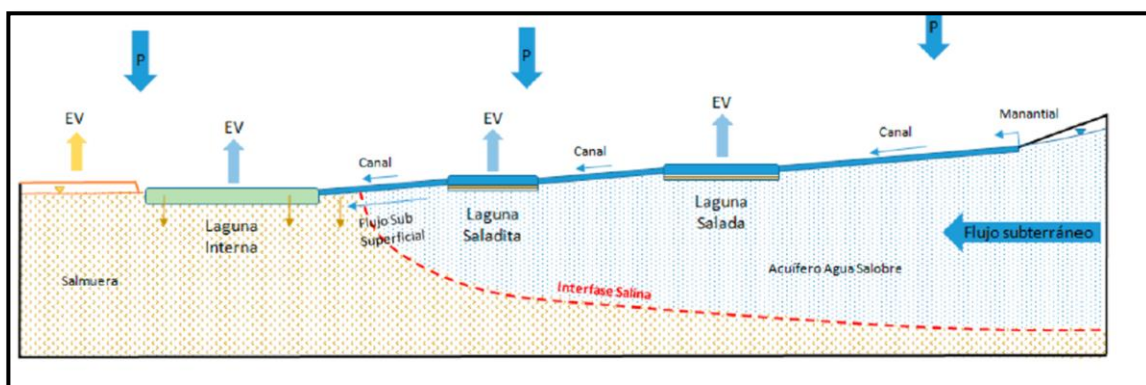


Fuente: Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico. Albemarle, 2017.

III.17.2 Interfaz salina

La interfaz salina es provocada por la diferencia de densidades entre el agua y la salmuera. Esta interfaz es la que realiza la separación entre zona marginal y el núcleo del salar. La extracción de salmuera provoca la disminución del perímetro del núcleo modificando la interfaz salina, a favor de la zona marginal aumentada su almacenamiento de agua.

Ilustración 8: Interfaz salina del Salar de Atacama.



Fuente: Modelo hidrogeológico Conceptual, CORFO, 2018.

En la etapa de operación, la interfaz salina va en dirección al núcleo debido al menor contenido de salmuera por descarga y la recarga de agua. Después de la etapa de cierre de extracción de salmuera, la interfaz salina recuperará su posición por el cese de la extracción de la salmuera y la disolución de las sales de acopio por precipitaciones casuales dando lugar a mayor cantidad de salmuera e impulsando la interfaz salina en dirección a la zona marginal recuperando su perímetro.

Capítulo IV: Discusión

Dado los análisis anteriores, se proyecta que el Salar de Atacama a largo plazo tendrá la tendencia a secarse por la diferencia favorable a la descarga. Para evitar esta grave estimación de impacto ambiental se debe realizar una explotación del salar de forma sustentable y las técnicas están disponibles, sólo se deben concretar proponiendo modificaciones en la legislación para las salmueras, ya que no es lógico realizar actividades de compensaciones o reparación al final de la vida útil, porque no están en los objetivos de la Ley que Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras.

Debido a la gran proyección del aumento de la demanda del litio, se están llevando a cabo una gran cantidad de proyectos en salares en diversos países y en Chile existen hartos actores en salares con proyectos de distintas industrias en una misma cuenca generando impactos acumulativos y perjudicando derechos de cada concesionario que se ubican en sectores acotados de la cuenca, para esto se deben de realizar modificaciones en la legislación para el manejo de cuencas.

Para la minería de salares que cuentan con proyectos aprobados para explotar, sus planes de cierre deben de ser regulados directamente por el Procedimiento de Aplicación General debido a la gran complejidad de realizar minería en salares y sus medidas de cierre y post cierre serán cada vez más complejas con tal de asegurar la estabilidad física y química de las instalaciones remanentes para no afectar a componentes ambientales de flora, fauna e hidrología que rodean los salares.

La determinación de la vida útil debe realizarse por acto administrativo por el arriendo de concesión y cada vez que se actualice esta vida útil, se debe realizar en sincronía con el Plan de Cierre cada vez que se modifique su vida útil, para establecer montos de garantías acordes a esta situación.

Para las instalaciones remanentes se debe realizar monitoreo y seguimientos post cierre para controlar la estabilidad física y minimizar los riesgos de falla. Para la estabilidad química, debido a los componentes de las tortas de

acopios, su ubicación debe ser estratégica debido al drenaje salino que genera, su ubicación dentro del núcleo de un salar, no generará repercusiones ambientales, pero si este se ubica en otro sector, como en un suelo que pueda generar vegetación o permeabilidad con tal de contaminar aguas subterráneas, se deben realizar técnicas necesarias para controlar este drenaje como los botaderos de lastre de minería no convencional para no afectar al entorno cambiando su pH por las sales contenidas.

Capítulo V: Conclusión

El Plan de Cierre debe evolucionar o progresar con el tiempo debido a que se conoce mejor el comportamiento de las instalaciones en el largo plazo. Por otro lado, la Ley 20.551, establece que se debe hacer una revisión periódica; a medida que se disponga de mayor información significativa de las diferentes instalaciones de un proyecto, por lo que las decisiones serán mucho más adecuadas para realizar modificaciones a las normativas de cierre y abarcar la gran diversidad de proyectos mineros.

V.1 Con respecto a la normativa aplicable a cierre de faenas mineras

Los Planes de Cierre de la minería del litio deben de asegurar la estabilidad física y química del entorno de salar como lo establece la Ley 20.551. Para cubrir estas exigencias, los titulares deben de realizar una revisión de cada una de sus RCA e identificar medidas que no cumplen con los objetivos de la Ley 20.551 para modificar ciertas medidas para asegurar fisicoquímicamente el entorno y para eso el documento se tiene que regular bajo el Régimen General y la incertidumbre es como debe ser la selección del procedimiento de aprobación como se indica en el artículo 10 de la Ley 20.551 para ser evaluado como un yacimiento minero y no como una planta química minera, ya que se determina por la capacidad de extracción de mineral y dadas las condiciones líquidas y legales de la salmuera, crea ciertas incertidumbres si es un buen método para dar elección a uno de los procedimientos de aprobación.

Además de la estabilidad física y química, las empresas de la industria del litio en Chile, se comprometen a realizar análisis para seguir el comportamiento del balance hídrico del entorno después del cese de extracciones estimando que por el ciclo del agua y características reversibles el salar se repare de forma natural pero no existen garantías financieras para estas medidas. Para el caso de empresas que se comprometen a realizar medidas de mitigación en etapa de cierre como reinyección de salmueras frescas en el caso del “proyectos de producción de sales Maricunga” condiciona indirectamente a otros proyectos que exploten del salar y para estos casos sinérgicos es de vital importancia gestionar un manejo de cuencas integrados para predecir la evolución del salar.

Para la determinación de la vida útil de yacimientos que contengan elementos no concesibles y que estén ligados a arrendamiento de concesiones (Caso CORFO en el Salar de Atacama), dando una fecha límite de explotación que condicione la vida útil del proyecto, estas deben estar en sincronía con los Planes de Cierre y de todos los documentos asociados cada vez que se modifique este acto administrativo, para establecer los montos de la garantía financiera, ya que la Ley 20.551 determina la vida útil de la relación de reservas y ritmo de extracción dando como resultado una vida útil muy diferida en cada caso.

V.2 Con respecto a los aspectos ambientales

Para controlar la estabilidad química y física, las tortas de acopio de sales deben tener una ubicación estratégica como el núcleo de un salar, debido al drenaje salino que será absorbido por el mismo salar generando una reversibilidad devolviendo las sales al lugar de origen por disolución sin afectar a los acuíferos cercanos. Pero si este no se encuentra en un núcleo de un salar, se deben tomar medidas similares a las de un botadero de la minería convencional, ya que su drenaje puede provocar efectos adversos a la flora y fauna y cambiando el pH a aguas de contacto proporcionando salinidad a acuíferos de agua dulce.

Para las piscinas de evaporación solar, como mejor medida sería su completa desmantelación, para devolver la permeabilidad natural de la costra salina donde se encontraban estas instalaciones, en caso de no ser así, se debe contar con análisis de riesgos de las instalaciones remanentes, monitoreo y seguimiento para evaluar el riesgo afectación a personas y medio ambiente.

Para estas instalaciones se debe seguir el protocolo normal como lo establece la Ley 20.551, incorporando en la etapa de post cierre seguimiento y monitoreo para verificar la estabilidad física y química.

Debido a los componentes del salar y la Ley que regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras, para las medidas que se establezcan en la superficie como desmantelación de infraestructura, estos se deben analizar como proyectos independientes. En cambio, para las medidas del ámbito de la

hidrogeología como monitoreo y seguimientos de niveles de altura de salmuera y aguas o reinyección de salmueras frescas, se debe analizar para comportamiento de toda la cuenca que abarque toda la información de las empresas que exploten de recursos. Para estos análisis, los organismos que regulan deben estar en sincronía para delimitar qué área evaluar, ya que, esta minería interfiere con recursos hídricos y donde están estos recursos, existe vida.

Debido al desbalance hídrico que se produce en el Salar de Atacama por la extracción de recursos de varios actores se espera una etapa de cierre anticipado de alguna de estas empresas debido a restricciones medioambientales como la reducción de los acuíferos o posibilidad de secado del salar. Por esto se requiere realizar un manejo de cuencas integrado que abarque todo aquel que explote de la cuenca y evitar efectos indeseables.

Para esto es de vital importancia tener políticas claras y definidas para determinar un manejo de cuencas de forma integral para poder realizar una minería sustentable en un entorno tan complejo y frágil como lo son los salares por el gran contenido de recursos hídricos que abarca en lugares tan áridos. Las herramientas como un modelo numérico para toda la cuenca ya se están concretando como es el caso del Salar de Atacama y terminado esto se pueden determinar PAT únicos para la cuenca en su totalidad, sólo falta realizar modificaciones legales para obligar a todos los actores a realizar estos métodos.

Con respecto a los objetivos que indica la Ley 20.551, existen artículos de la ley que no resultan aplicables por las relevancias hidrogeológicas de la salmuera y al componente como el litio que por su condición de no concesible se aplican límites por actos administrativos para la vida útil de forma ajena a como lo indica la misma Ley.

Este proyecto es un primer acercamiento a temas relacionados a Planes de Cierre a la minería del litio, por lo cual es necesario seguir investigando para proponer información a ciertas recomendaciones que dan a conocer en esta investigación y dar lugar a realizar una buena gestión en cuencas para todo tipo de industrias.

Capítulo VI: Recomendaciones

- Consideran explícitamente a la salmuera como un recurso minero en el código de minería para clasificar el tipo procedimiento de evaluación para el Plan de Cierre para proyectos mineros en salares.
- Establecer un capítulo adicional a la Ley 20.551 para la minería de salares para definir un dimensionamiento de extracción y clasificar su procedimiento de aplicación (General o Simplificado) como los hidrocarburos con volúmenes de extracción definidos (petróleo y gas natural).
- Determinar vida útil por acto administrativos a yacimientos que estén limitados por terceros (caso CORFO-Salar de Atacama).
- Establecer un manejo de cuencas integral para evitar una restricción ambiental que de origen a un anticipado cierre de faenas y poder realizar un seguimiento y monitoreo de los recursos hídricos acordes a los proyectos de una misma cuenca en operación y en proceso de cierre y post cierre en conjunto.

Capítulo VII: Glosario

- Abandono: Dejación del sitio en el cual se emplaza una faena o instalación minera sin cumplimiento de los deberes y obligaciones impuestos por el sistema de cierre de faenas mineras.
- Área de influencia: es el área o espacio geográfico cuyos componentes ambientales podrían verse afectados luego del cese de las operaciones de la faena o instalación minera.
- Cese de operaciones: Terminación de las actividades productivas de la faena o instalación minera.
- Cierre parcial (cierre de instalaciones): término total de las actividades de una instalación que forma parte de una faena minera, calificado por la autoridad competente, realizado de acuerdo con un plan autorizado y con estricto cumplimiento del marco jurídico ambiental vigente.
- Cierre total (cierre de faena): término total de las actividades de todas las instalaciones que componen una faena minera, calificado por la autoridad competente, realizado de acuerdo con un plan autorizado y con estricto cumplimiento del marco jurídico ambiental vigente.
- Cierre: término total de las actividades de una faena o instalación minera, calificado por la autoridad competente, realizado de acuerdo con un plan autorizado y con estricto cumplimiento del marco jurídico ambiental vigente.
- Compensación: actividades que tienen por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso identificado, que no sea posible mitigar o reparar. Ejemplo sustitución de los recursos naturales o elementos del medio ambiente afectados por otros de similares características, clase, naturaleza, calidad y función.
- Efecto ambiental: materialización de eventos que afectan negativamente la salud y seguridad de las personas y/o el medio ambiente.
- Estabilidad física: situación de seguridad estructural, que mejora la resistencia y disminuye las fuerzas desestabilizadoras que pueden afectar

obras o depósitos de una faena minera, para la cual se utilizan medidas con el fin de evitar fenómenos de falla, colapso o remoción.

- Estabilidad química: situación de control en agua, en aire y en suelo de las características químicas que presentan los materiales contenidos en las obras o depósitos de una faena minera, cuyo fin es evitar, prevenir o eliminar, si fuere necesario, la reacción química que causa acidez, evitando el contacto del agua con los residuos generadores de ácidos que se encuentren en obras y depósitos masivos mineros, tales como depósitos de relaves, botaderos, depósitos de estériles y rípios de lixiviación.
- Evaluación de riesgo: procedimiento mediante el cual se establecen y analizan los riesgos de una Faena Minera o instalación minera, de forma de determinar si dichos riesgos revisten o no el carácter de significativo.
- Faena minera: conjunto de instalaciones y lugares de trabajo de la industria minera, tales como minas, plantas de beneficio, fundiciones, refinerías, maestranzas, casas de fuerza, talleres, lugares de embarque y despacho y, en general, la totalidad de las instalaciones de apoyo necesarias para asegurar el funcionamiento de la industria minera.
- Garantía financiera: instrumento de resguardo que asegura al estado el financiamiento de la ejecución del plan de cierre, en caso de incumplimiento total o parcial por parte del operador minero.
- Instalación remanente: se refiere a las instalaciones de una faena minera que no son desmanteladas al momento del cierre o que quedan tras el cese de la actividad, por ejemplo, acopios de descarte.
- Línea de base: la descripción detallada del área de influencia de un proyecto o actividad, en forma previa a su ejecución.
- Mitigación: actividades que tienen por finalidad evitar o disminuir los efectos adversos del proyecto o actividad, cualquiera sea su fase de ejecución.
- Pasivo ambiental: aquellos sitios contaminados o con presencia de contaminantes (por emisiones o liberaciones de sustancias peligrosas),

que no han sido objeto de remediación y que requieren de dicha intervención (previa evaluación de riesgos para evitar la dispersión de contaminantes”.

- Plan de cierre: documento que especifica un conjunto de acciones que permiten cumplir con los objetivos de la normativa vigente sobre cierre de faenas mineras, para lo cual considera una programación global y de detalle, tendiente a lograr el cierre de las operaciones de las mismas en forma ordenada, eficiente, progresista y oportuna, con estricto cumplimiento del marco jurídico ambiental vigente.
- Reparación: medidas de reparación que tienen por finalidad reponer uno o más de los componentes o elementos del medio ambiente a una calidad similar a la que tenían con anterioridad al impacto sobre dicho componente o elemento o, en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas.
- Residuos mineros masivos: corresponden a materiales provenientes de las operaciones de extracción, beneficio o procesamiento de minerales, los cuales son generados en grandes volúmenes. Los residuos mineros masivos en la industria minera son los estériles, los minerales de baja ley, residuos de minerales tratados por lixiviación, relaves y escorias.
- Umbral o nivel de acción: valor de un indicador de estado que sirve como referencia para activar medidas y decidir cursos de acción.

Capítulo VIII: Bibliografía

- **Albemarle (2015)**, Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Alerta Temprana de los Recursos Hídricos.
- **Albemarle (2015)**, Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama.
- **Albemarle (2017)**, Informe Anual N1 del plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH), Proyecto: Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama.
- **Alonso y Risacher (1996)**, Geoquímica del Salar de Atacama, parte 1: origen de los componentes y balance salino.
- **Bitran (2017)**, Estrategia Litio de CORFO, foro del Litio 2017.
- **Cámara argentina, (2017)**, (Marzo, 2017) situación actual y perspectivas del mercado del Litio, Ministerio de Energía y Minería, Argentina.
- **Campos (2016)**, Fundamentos y normativas de los planes de cierre, Modulo I.
- **CMNM (2017)**, Estudio para el análisis y preparación de un plan de trabajo en relación a las distintas RCA sobre el Salar de Atacama, región Metropolitana, Diciembre, 2017.
- **CMNM (2018)**, Modelo Hidrogeológico Consolidado Cuenca Salar de Atacama, Comité de Minería No Metálica CORFO y AMPHOS 21.
- **COCHILCO (2013)**, Mercado Internacional del Litio.
- **COCHILCO (2017)**, Mercado Internacional del Litio y su potencial en Chile.
- **Ericksen (2000)**, Lithium resources and requirements by the year 2000. Lithium resources of salars in the central andes, pag 66
- **Galaz (2017)**, Inducción Planes de Cierre, ppt.
- **Informe especial (2016)**, informe de la comisión especial investigadora de Litio de “La participación de toda empresa u organismo público en la exploración, procesamiento, explotación, exportación y transporte de litio, así como de las características del contrato suscrito entre CORFO y SQM para la explotación de dicho metal”.
- **Lagos (2012)**, Desarrollo del litio en Chile 2012.

- **Ministerio de Minería (Mayo 2016)**, Marco general del Litio y la nueva Política Nacional del Litio y gobernanza de los Salares.
- **Pavlovic (2014)**, Revista de ingenieros, La industria del Litio en Chile.
- **Perez y Shinomi, (2005)** Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, Conceptos Básicos.
- **Poch (2015)**, “Plan de Cierre de faenas e Instalaciones Mineras Planta Química La Negra y Planta El Salar” Régimen transitorio para Rockwood Litio Ltda.
- **RCA 21/2016 (2016)**, “EIA Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama” presentada por Albemarle.
- **RCA N° 226/2006 (2006)**, “Cambios y Mejoras de la operación Minera en el Salar de Atacama” presentada por SQM Salar S.A.
- **SERNAGEOMIN (2012)**, Seminario Ley 20.551.
- **SERNAGEOMIN y CORFO (2015)**, Guía Metodológica para la estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras.
- **SESMA**, Información General relativa a Residuos Industriales Sólidos
- **SGA (2018)**, Declaración de Impacto Ambiental proyecto “Planta Carbonato de litio mejillones” para Albemarle.
- **SONAMI (2012)**, Cierre de Faenas Mineras: Aspectos generales de la Ley 20.551.
- **SQM (2014)**, “Propuesta de Valorización y Garantías Financieras para Plan de Cierre por Régimen transitorio Faena Salar de Atacama (Ley N° 20.551)”.
- **USGS (Enero 2018)**, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Lithium, pag 98.
- **Wilkomirsky (2009)**, extracción y refinación de metales no ferrosos.

Capítulo IX: Anexos